Б. К. КЛОКОВ

ОБМОТЧИК электрических машин

ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ



Б. К. КЛОКОВ

ОБМОТЧИК электрических машин

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

Одобрено Ученым советом Государственного комитета СССР по профессионально-техническому образованию в качестве учебника для средних профессионально-технических училищ



Москва
„Высшая школа"
1987

ББК 31.261
К.50
УДК 621.311.045

Рецензент М. В. Антонов, канд. техн. наук (Московский энергетический институт)

Клоков Б. К.

К50 Обмотчик электрических машин: Учеб. для СПТУ. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1987. — 256 с.; ил.

В учебнике рассмотрена технология обмоточных и изолировочных работ, выполняемых при производстве и ремонте электрических машин.

Во 2-м издании (1-е — 1982 г.) обновлен материал в связи с изменениями, происшедшими в оборудовании электромашиностроительных заводов; более подробно даны сведения об обмотках машин малой мощности (однофазных двигателей).

$К\frac{2302030000(4307000000)-490}{052(01)-87}34-87$

ББК 32.261
6П2.1.081

Учебное издание

Борис Константинович Клоков

ОБМОТЧИК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Зав. редакцией С. В. Никитина. Редактор Г. А. Сильвестрович. Младший редактор Л. Н. Щелкова. Художественный редактор Е. Д. Косырева. Художник И. В. Тыртычный. Технические редакторы Р. С. Родичева. А. К. Нестерова. Корректор В. В. Кожуткина.

ИБ № 6333

Изд. № ЭГ-138. Сдано в набор 22.12.86. Подп. в печать 21.08.87. Формат $60\times90^1/_{16}$. Бум. офсетная № 2. Гарнитура таймс. Печать офсетная. Объем 16 усл. печ, л. 64,5 усл. кр.-отт. 17,11 уч.-изд. л. Тираж 96 000 экз. Зак. № 4. Цена 55 коп.

Издательство «Высшая школа», 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14.

Ярославский полиграфкомбинат «Союзполиграфпрома» при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, 150014, Ярославль, ул. Свободы, 97.

Оглавление

Предисловие

Основные направления экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года определяют необходимость широкой электрификации, которая является основой ускорения технического прогресса развития промышленности и сельского хозяйства. Только всестороннее развитие электрификации дает возможность полностью механизировать производство, внедрить автоматику и увеличить производительность труда. В осуществлении этой задачи важная роль принадлежит электромашиностроению.

Электрические машины очень разнообразны и широко распространены и в промышленности, и в сельском хозяйстве, и на транспорте. Конструкция электрических машин определяется типом, мощностью, назначением, условием их эксплуатации и многими другими факторами: есть двигатели, вращающиеся с частотой в несколько десятков и даже сотен тысяч оборотов в минуту, и двигатели, которые делают один-два оборота в сутки. Различные электрические машины работают на космических станциях, в глубоких шахтах и под водой.

Широкое распространение электрических машин объясняется простотой передачи электроэнергии на большие расстояния и удобством ее использования. От тепловых, гидравлических или атомных электростанций, на которых расположены генераторы, электроэнергия по линиям электропередачи передается на тысячи километров до места ее потребления — городов, заводов, шахт, железнодорожных магистралей. Основные потребители электроэнергии — электродвигатели — просты и надежны в работе, имеют более высокий коэффициент полезного действия, чем любые другие современные двигатели, могут быть легко установлены в нужном месте и работают, совершенно не загрязняя окружающую среду: без дыма, выделения газов и вредных выхлопов, как, например, двигатели внутреннего сгорания. Поэтому в планах развития народного хозяйства всегда предусматривается опережающий другие отрасли рост выработки электроэнергии и производства электрических двигателей.

Электрические двигатели приводят в движение практически все промышленные механизмы, начиная от мощнейших прокатных станов до мелких приборов, служащих для контроля и управления процессами производства. Их работа во многом опре-

деляет надежность автоматических линий, различных манипуляторов и промышленных роботов.

В решениях XXVII съезда КПСС главное внимание уделено ускорению научно-технического прогресса и повышению производительности труда; при этих условиях особое значение приобретает повышение качества и надежности электрических машин.

Основной причиной преждевременного выхода из строя двигателей и генераторов являются различные неисправности их обмоток. Поэтому увеличение надежности электрических машин в большой степени зависит от соблюдения правильной технологии обмоточных работ и от квалификации обмотчиков.

В настоящем учебнике, предназначенном для обучения обмотчиков электрических машин, изложены основные вопросы технологии изготовления и укладки обмоток машин общего назначения, т. е. двигателей и генераторов, предназначенных для работы на промышленных предприятиях и электростанциях от сетей с частотой 50 Гц или от сетей постоянного тока.

Автор

Введение

Эта книга — о технологии изготовления и укладки обмоток электрических машин, о схемах обмоток, их испытаниях и ремонте. Изготовляют и укладывают обмотку в машину обмотчики электрических машин. От их квалификации во многом зависят качество выполненных обмоточных работ и качество самой электрической машины, выпущенной заводом. Это происходит потому, что обмотка — самая уязвимая часть электрической машины. Ее изоляция делается из материалов, которые имеют большую электрическую прочность, но значительно меньшую механическую прочность, чем остальные части машины; она может длительно работать только при температурах, не превышающих 130—150°С. Поэтому она повреждается чаще, чем все остальные детали, и повреждение изоляции обмотки неминуемо приводит к быстрому выходу из строя всей электрической машины.

Раньше почти все операции по изготовлению и укладке обмотки выполнялись обмотчиками вручную. Теперь многие из них механизированы. Это еще более повысило требования к квалификации обмотчиков. Они должны не только уметь самостоятельно изготовить и уложить обмотку в машины различных типов, но и знать их принцип действия и уметь работать на различных станках.

Чтобы стать квалифицированным обмотчиком, мало уметь даже хорошо выполнять отдельные операции по изготовлению обмотки, нужно знать технологию всех обмоточно-изолировочных работ, так как каждая операция является частью всего технологического процесса изготовления электрической машины. От качественного выполнения даже самой мелкой операции зависит надежность работы электрической машины.

В этом учебнике, который вы начинаете изучать, изложены лишь основные вопросы технологии обмоточно-изоляционных работ. Их надо знать и, главное, понимать, для чего выполняются те или иные операции и какое значение они имеют во всем процессе изготовления и укладки обмоток.

Для выполнения конкретных работ на практических занятиях и в цехах завода сведений, которые есть в этом учебнике, вам часто не будет хватать. Это объясняется тем, что технология выполнения тех или иных операций разрабатывается с учетом специфических особенностей конкретных видов машин и условий их производства. Поэтому помимо учебника нужно изучать техническую документацию, производственные инструкции и конкретные приемы выполнения работы квалифицированными рабочими — передовиками производства.

ГЛАВА I

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

§ 1. КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Электрические машины — самые распространенные машины в народном хозяйстве. Почти вся электрическая энергия вырабатывается электрическими генераторами, установленными на электростанциях, и более чем две трети этой энергии преобразуется электрическими двигателями в механическую энергию. Помимо электрических двигателей и генераторов существуют электрические машины, которые называют преобразователями. Они преобразуют электрическую энергию переменного тока в энергию постоянного тока или переменный ток одной частоты в переменный ток другой частоты. Существует также много видов специальных электрических машин, применяемых в системах автоматики. Они служат для контроля и передачи тех или иных команд исполнительным механизмам или для информации, например, о частоте вращения основного двигателя, о положении механизмов или их частей в системах управления. Эти машины называют информационными электрическими машинами.

Конструкции электрических машин очень разнообразны. Они зависят от их типа, назначения и мощности. По роду тока электрические машины подразделяются на машины переменного тока (синхронные и асинхронные) и машины постоянного тока — коллекторные. Однако есть машины переменного тока коллекторные и постоянного тока бесколлекторные (вентильные).

По мощности электрические машины условно разделяют на несколько групп: машины малой мощности, обычно не более 8—10 кВт; средней мощности — от 10 до нескольких сотен киловатт, большой мощности — более 1000 кВт. В первой группе выделяют машины мощностью до 400—500 Вт; их часто называют микромашинами. Электрические машины мощностью в несколько десятков тысяч киловатт и более обычно называют крупными машинами; к ним, в первую очередь, относятся турбогенераторы и гидрогенераторы, двигатели постоянного тока — главные приводы прокатных станов и т. п.

Электрические двигатели и генераторы одного типа по своей

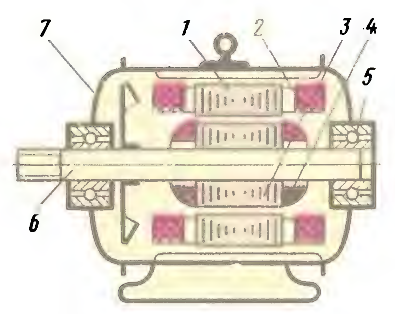


Рис. 1. Конструктивная схема вращающейся электрической машины

конструкции незначительно отличаются друг от друга, но по условиям работы и по требованиям, которые предъявляются к их характеристикам, имеют существенные различия. Двигатель можно использовать как генератор, но его характеристики будут плохими. Если генератор использовать как двигатель, то он также будет работать, но значительно хуже, чем выпущенный заводом электрический двигатель.

Несмотря на большое разнообразие электрических машин, большинство из них имеет одну и ту же конструктивную схему и много общих элементов. На рис. 1 показана одна из распространенных конструктивных схем вращающейся электрической машины средней мощности. Стальной или чугунный корпус машины имеет лапы для крепления к фундаменту и рым-болт для подъема и транспортировки во время изготовления машины и ее монтажа на месте установки. На корпусе укреплена коробка выводов с зажимами. Внутри машины к выводам подводятся выводные концы обмотки, а снаружи — концы кабеля, соединенного с аппаратурой управления и питающей машину сетью. В корпусе жестко закреплен сердечник статора *1*, представляющий собой полый толстостенный цилиндр, собранный из отдельных листов электротехнической стали. Внутри статора располагается вращающаяся часть электрической машины — ротор *3*. Вал ротора *6* вращается в подшипниках *5*, установленных в торцовых щитах *7*. Поэтому торцовые щиты часто называют также подшипниковыми.

В машинах больших размеров прочность торцовых щитов недостаточна для надежного крепления подшипников ротора, имеющего большую массу, и подшипники устанавливают рядом со статором, на выносных подшипниковых стойках. Такие подшипники называют стояковыми.

В большинстве машин устанавливают подшипники качения — шариковые или роликовые в зависимости от мощности машины. На выносных подшипниковых стойках чаще всего устанавливают подшипники скольжения, способные выдержать значительно большую нагрузку, чем подшипники качения.

Промежуток между наружной поверхностью ротора и внутренней поверхностью статора называют *воздушным зазором*. По обеим сторонам воздушного зазора на статоре и роторе располагаются обмотки *2* и *4*. Обмотки состоят из отдельных катушек, намотанных из медного изолированного провода. Катушки обмотки соединяются между собой так, чтобы они образовали нужное число полюсов.

Ток одной из обмоток, например обмотки *4*, ротора возбуждает электромагнитное поле машины — создает магнитный поток. Эта обмотка называется *обмоткой возбуждения,* а ток в ней — *током возбуждения.* Обмотка возбуждения может быть расположена на роторе, как показано на рис. 1, или на статоре, как в большинстве машин постоянного тока.

Магнитные силовые линии потока при вращении ротора пересекают проводники другой обмотки и в ней наводится эдс. Чтобы магнитное сопротивление потоку не было слишком велико, сердечники статора и ротора делают из стали. Магнитное сопротивление стали много меньше, чем воздуха, и силовые линии потока, которые всегда замыкаются по пути с наименьшим сопротивлением, практически не выходят за пределы машины.

Части статора и ротора, по которым проходит магнитный поток, называются их *магнитопроводами,* или *сердечниками,* а весь путь, по которому проходят магнитные силовые линии, — *магнитной цепью машины.*

Магнитный поток в электрической машине обязательно пересекает воздушный зазор между статором и ротором. Чтобы уменьшить магнитное сопротивление этого участка магнитной цепи, катушки обмоток располагают либо в пазах сердечников, либо на полюсах так, чтобы между стальными сердечниками статора и ротора оставался лишь небольшой воздушный зазор.

Магнитный поток в сердечниках статора и ротора в зависимости от типа машины может быть постоянный или переменный. Переменный поток перемагничивает сталь сердечника и наводит в ней вихревые токи. Это вызывает нагрев стали сердечников. Чтобы уменьшить нагрев, сердечники с переменным магнитным потоком делают наборными (шихтованными) из тонких листов электротехнической стали толщиной 0,5 мм. В сердечниках с постоянным магнитным потоком перемагничивания стали не происходит и их делают массивными из конструкционной стали или литыми из стали или чугуна.

§ 2. ПОТЕРИ И КПД ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Во время работы часть потребляемой электрической машиной энергии расходуется на нагрев ее деталей. Поэтому механическая энергия на валу двигателя всегда меньше, чем потребляемая им электрическая энергия, а электрическая энергия, которую отдает в сеть генератор, меньше, чем механическая энергия, затрачиваемая на вращение его ротора. Разность между потребляемой и отдаваемой энергиями не может быть использована для полезной деятельности. Эта часть энергии как бы «теряется». Поэтому ее называют потерями и для удобства сравнения с мощностью машины оценивают за единицу времени и выражают в единицах мощности.

Потери в машинах в зависимости от вызывающих их физических процессов подразделяют на электрические, магнитные,

механические и вентиляционные. Те части машины, в которых возникают потери, нагреваются. Электрические потери вызывают нагрев обмоток статора и ротора проходящими по ним токами; магнитные потери — нагрев магнитопровода из-за вихревых токов, наводящихся в нем переменным магнитным потоком, и перемагничивания стали; механические потери — нагрев подшипников из-за трения при работе машины. К вентиляционным потерям относят мощность, которую надо затратить для вращения вентилятора, охлаждающего электрическую машину, и на трение вращающихся частей машины о воздух. Все другие виды потерь, возникающие при работе электрической машины, называют добавочными. Они невелики и обычно не превышают нескольких процентов от суммы всех потерь в машине.

Коэффициентом полезного действия (кпд) электрической машины, так же как и всякой другой машины, называют отношение отдаваемой мощности к потребляемой, выраженное в процентах: $\eta = (P_2/P_1) \cdot 100$. В электрических двигателях P_2 — мощность, которую двигатель передает соединенному с ним механизму, т. е. мощность на валу двигателя, а P_1 — потребляемая двигателем мощность из электрической сети; в генераторах P_2 — электрическая мощность, отдаваемая генератором в сеть, а P_1 — мощность, затрачиваемая на вращение вала генератора.

Кпд электрических машин очень высок. Он больше, чем в каких-либо других видах машин. Кпд мощных синхронных генераторов — турбогенераторов и гидрогенераторов — превышает 98%. Это значит, что на потери расходуется меньше 2% потребляемой ими энергии пара или воды. С уменьшением мощности машины ее кпд снижается. В машинах средней мощности он уменьшается до 80—90%, а машины мощностью меньше 1 кВт имеют кпд не выше 50—60%.

Каждая электрическая машина рассчитана на работу при определенном напряжении сети, с определенными частотой вращения, током и мощностью. Эти данные называют номинальными и указывают на паспортной табличке, которую укрепляют на корпусе машины. Если электрический двигатель или генератор нагрузить больше, чем указано в паспортной табличке, его нагрузка и ток в его обмотках будет также больше номинального. Электрические потери возрастут, нагрев обмоток увеличится и может превзойти допустимый для их изоляции предел. Изоляция обмоток потеряет электрическую прочность, машина выйдет из строя.

Чтобы снизить нагрев при работе, электрическую машину охлаждают. Наиболее распространено воздушное охлаждение — поток воздуха с помощью вентилятора, установленного на валу машины (см. рис. 1). Машина охлаждается лучше, если вместо воздуха обдувать ее наиболее нагревающиеся части водородом. Водородное охлаждение много сложнее и дороже воздушного, поэтому его применяют лишь в ответственных машинах большой мощности, чаще всего в турбогенераторах. Еще более интенсив-

ное охлаждение обмоток достигается водой. Обмотки машин с водяным охлаждением выполняются из полых проводников, по внутренним каналам которых пропускается дистиллированная вода. Водяное охлаждение применяют в наиболее крупных гидрогенераторах и турбогенераторах. Все электрические машины общего назначения имеют воздушное охлаждение.

§ 3. ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

Каждый из типов электрических машин (синхронные, асинхронные, постоянного тока) имеет специфические особенности. Области применения машин различных типов разграничены в зависимости от их характеристик, способов и пределов регулирования.

Синхронные машины. Синхронные машины работают с постоянной частотой вращения, зависящей от числа их полюсов и частоты питающей сети. Пустить в ход синхронный двигатель сложно, так как его пусковой момент равен нулю. Поэтому синхронные машины выпускаются в основном как генераторы или как двигатели, предназначенные для приводов механизмов, которые не требуют частых пусков и должны работать с постоянной скоростью.

Обмотка возбуждения синхронной машины (рис. 2) располагается на роторе. Ток возбуждения постоянный, подается в обмотку от возбудителя-генератора постоянного тока или от тиристорного выпрямителя через щетки и вращающиеся контактные кольца, соединенные с выводами обмотки возбуждения.

В машинах с частотой вращения не более 1500 об/мин катушки обмотки возбуждения состоят из большого числа витков и установлены на стальные сердечники полюсов, закрепленные на роторе. Машины такой конструкции называют *явнополюсными*. Сердечник статора синхронных машин шихтованный из листовой электротехнической стали. В пазах сердечника, равномерно распределенных по его внутренней поверхности, располагаются катушки обмотки статора. Сердечник статора запрессован в корпус. К торцам корпуса крепятся торцовые щиты с подшипниками.

Мощность синхронных явнополюсных двигателей достигает нескольких тысяч киловатт. Мощность явнополюсных синхронных генераторов (рис. 3), установленных на гидроэлектростанциях (гидрогенераторов), значительно больше: на Красноярской ГЭС установлены гидрогенераторы мощностью 500 тыс. кВт, а на Саяно-Шушенской 640 тыс. кВт.

Конструкция роторов синхронных машин с частотой вращения 3000 об/мин отличается от рассмотренной выше. При 3000 об/мин центробежные силы, действующие на ротор, очень велики, поэтому приходится выполнять ротор цельным из поковок стали высокой прочности Обмотка возбуждения размеща-

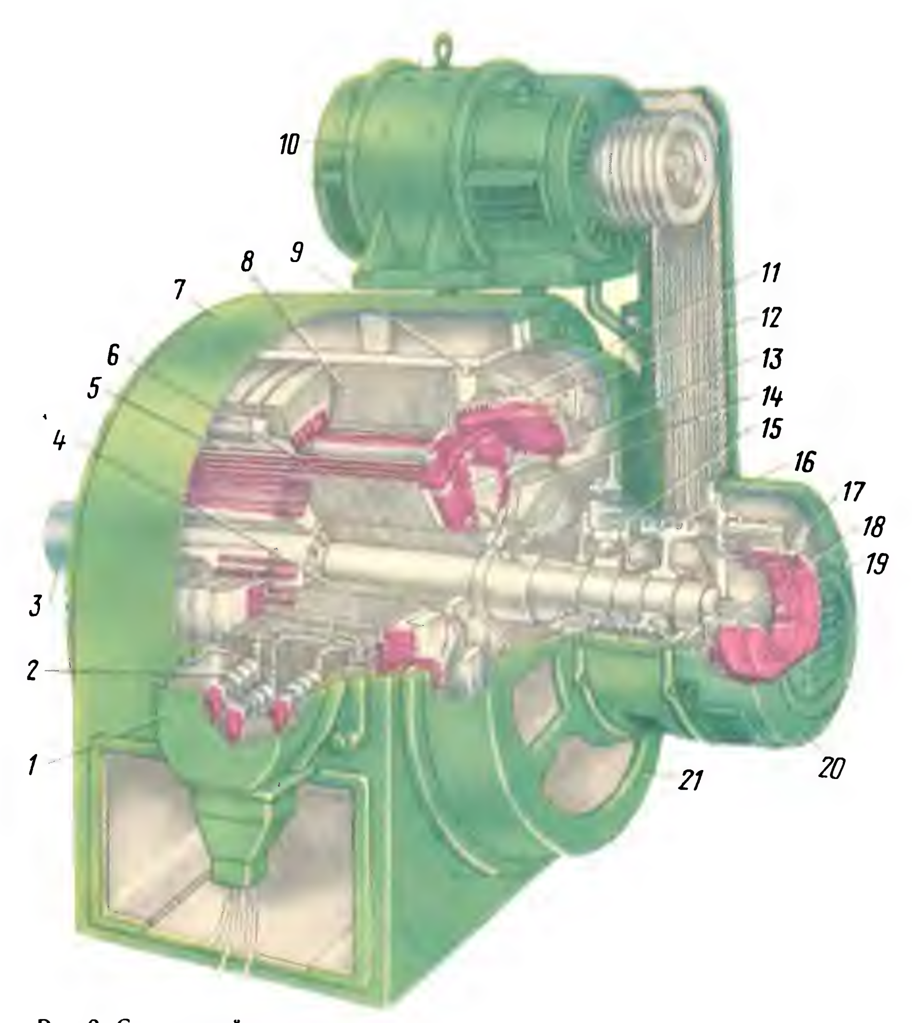


Рис. 2. Синхронный двигатель:

1 — коробка выводов, *2* — изолятор, *3* — вал, *4* — магнитопровод ротора, *5* — стержень демпферной (пусковой) обмотки, *6* — сердечник полюса, *7* — корпус, *8* — магнитопровод статора, *9* — кольцевая шпонка, *10* — возбудитель, *11* — бандажное кольцо обмотки статора, *12* — обмотка статора, *13* — полюсная катушка, *14* — вентилятор, *15* — подшипник, *16* — крышка подшипника с уплотнениями, *17* — щеткодержатель, *18* — токоподвод к обмотке ротора, *19* — контактное кольцо, *20* — защитный кожух контактных колец, *21* — торцовый щит

ется в пазах, которые фрезеруют в роторе. Такую конструкцию имеют все генераторы, установленные на тепловых и атомных электростанциях. Они называются турбогенераторами (рис. 4). Турбогенераторы — самые мощные электрические машины. На заводе «Электросила» им. С. М. Кирова в 1980 г. построены турбогенераторы мощностью 800 000 и 1 200 000 кВт. В настоящее время готовится к выпуску еще более мощный турбогенератор на 1600 МВт.

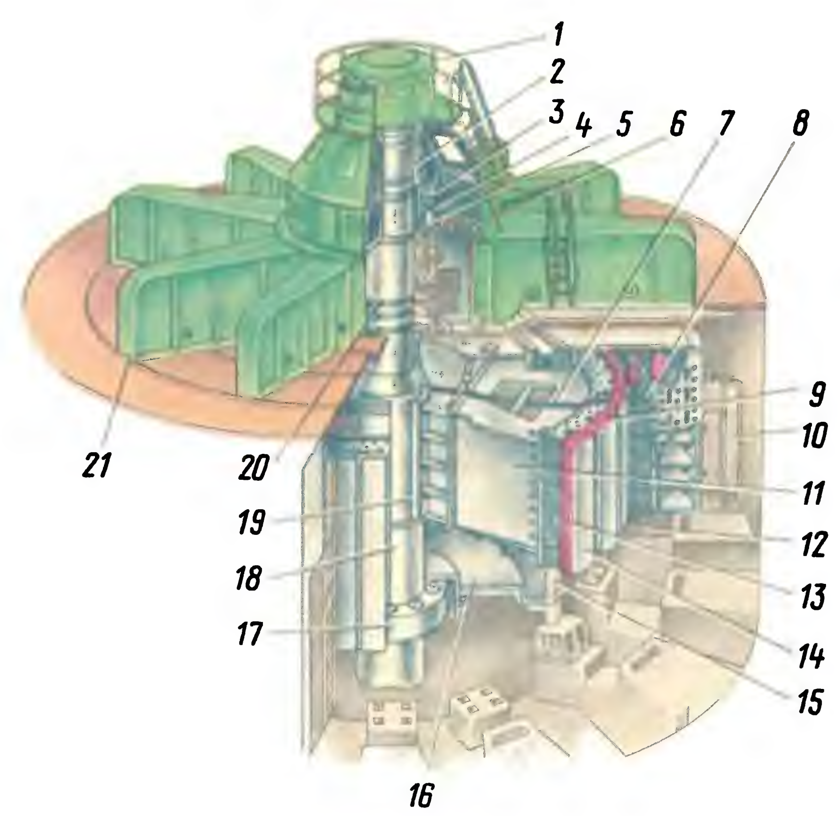


Рис. 3. Гидрогенератор:

1 — регуляторный генератор, *2* — втулка подпятника, *3* — диск подпятника, *4* — болт регулировки сегмента, *5* — опора сегмента, *6* — охладитель масла, *7* — токоподвод к обмотке ротора, *8* — статор, *9* — полюс, *10* — охладитель, *11* — спицы ротора, *12* — обмотка статора, *13* — обод ротора, *14* — полюсный наконечник, *15* — тормоз, *16* — нижняя крестовина, *17* — соединительный фланец, *18* — вал ротора, *19* — втулка ротора, *20* — контактные кольца, *21* — верхняя крестовина

Асинхронные машины. Асинхронные машины применяются как двигатели. Они приводят в движение почти все виды станков в промышленности, работают в шахтах, на буровых установках, широко применяются в бытовой технике.

В асинхронных машинах в отличие от синхронных специальная обмотка возбуждения отсутствует. Магнитный поток создается током намагничивания, который протекает по той же обмотке, что и ток нагрузки, т. е. по обмотке статора. Обмотка ротора не соединена с внешней цепью. Ток в ней возникает от эдс, наводимых при пересечении витками обмотки магнитных силовых линий потока, создаваемого намагничивающим током.

Асинхронные двигатели выпускают двух типов: с короткозамкнутыми (рис. 5) и фазными (рис. 6) роторами.

Обмотка фазных роторов изолирована, как и обмотка ста-

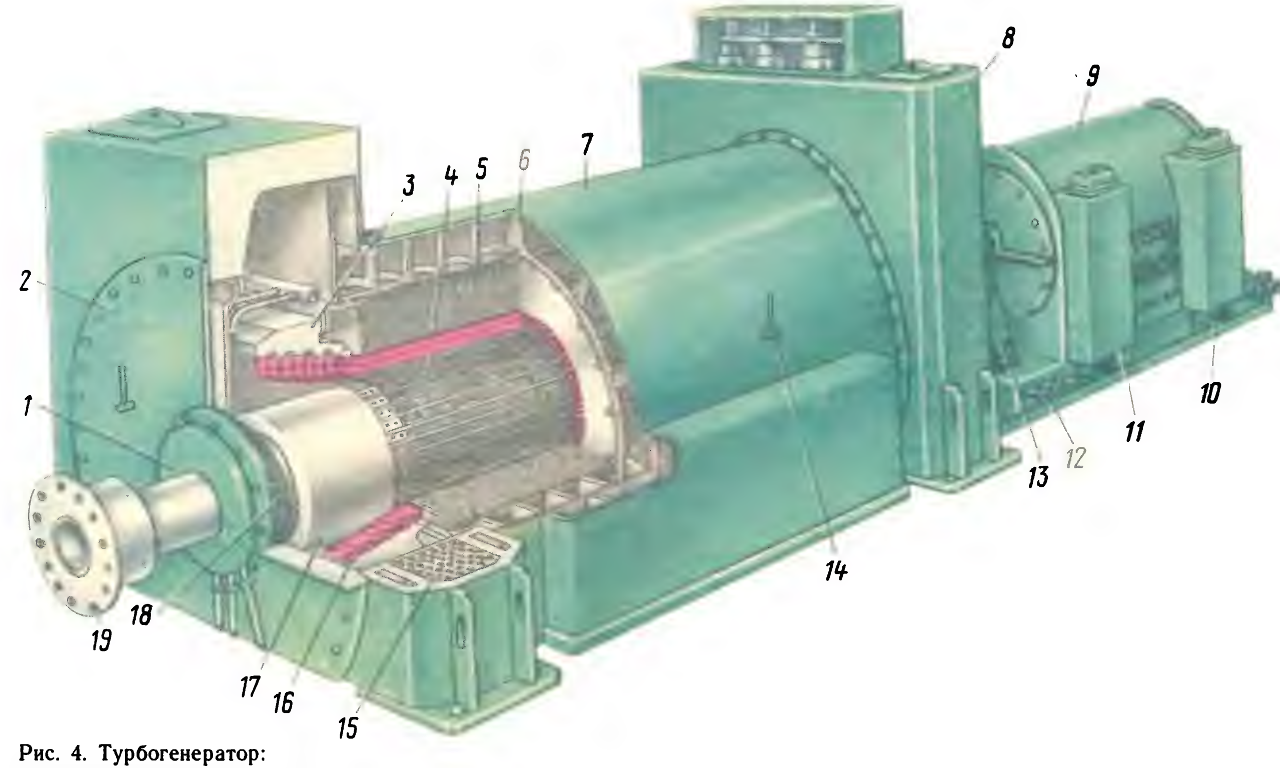


Рис. 4. Турбогенератор:

1 — уплотнения на валу ротора, *2* — торцовый щит, *3* — кронштейн крепления обмотки статора, *4* — ротор, *5* — магнитопровод статора, *6* — детали крепления магнитопровода к корпусу, *7* — корпус турбогенератора, *8* — охладитель турбогенератора, *9* — возбудитель, *10* — патрубок подвода воды к охладителю, *11* — охладитель возбудителя, *12* — маслопровод к подшипнику, *13* — стойка подшипника, *14* — термометр, *15* -- трубки для циркуляции воды в охладителе, *16* — бандажные кольца обмотки статора, *17* — бандажное кольцо ротора, *18* — центробежный вентилятор, *19* — фланец для соединения вала ротора с турбиной

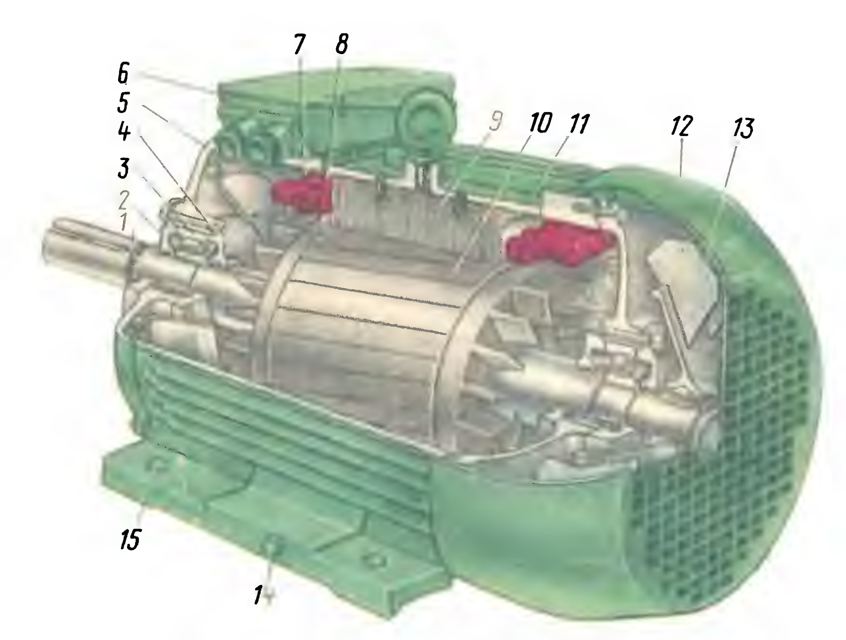


Рис. 5. Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором:

1 — вал, 2 — наружная крышка подшипника, 3 — роликовый подшипник, 4 — внутренняя крышка подшипника, 5 — подшипниковый щит, 6 — коробка выводов, 7 — обмотка статора, 8 — обмотка ротора, 9 — сердечник статора, 10 — сердечник ротора, 11 — корпус электродвигателя, 12 — кожух вентилятора, 13 — вентилятор, 14 — болт заземления, 15 — отверстие для болта крепления двигателя

тора. Начала фаз обмотки подведены к контактным кольцам. С помощью щеток, прилегающих к кольцам, обмотку ротора соединяют с пусковым реостатом. Во время пуска и разгона двигателя резисторы реостата включаются последовательно с каждой из фаз обмотки и ограничивают токи в них, одновременно повышается пусковой момент двигателя. По мере разгона двигателя реостат выводят и при достижении номинального режима работы обмотку ротора замыкают накоротко. Двигатели с фазными роторами могут пускаться плавно без больших бросков тока в сети.

Короткозамкнутые роторы имеют неизолированную постоянно замкнутую накоротко обмотку. Двигатели с короткозамкнутыми роторами проще по конструкции, дешевле и надежней в работе, чем с фазными, так как в них отсутствует изоляция обмотки ротора, нет скользящих контактов — щетки-кольца и для пуска не требуется пускового реостата. Короткозамкнутые роторы имеют два конструктивных исполнения: с обмоткой из вставных медных стержней и с литой обмоткой. Наибольшее распространение получили двигатели, обмотка роторов которых выполнена заливкой пазов алюминием или его сплавами. Одновременно со стержнями обмотки отливаются и короткозамыкающие кольца с

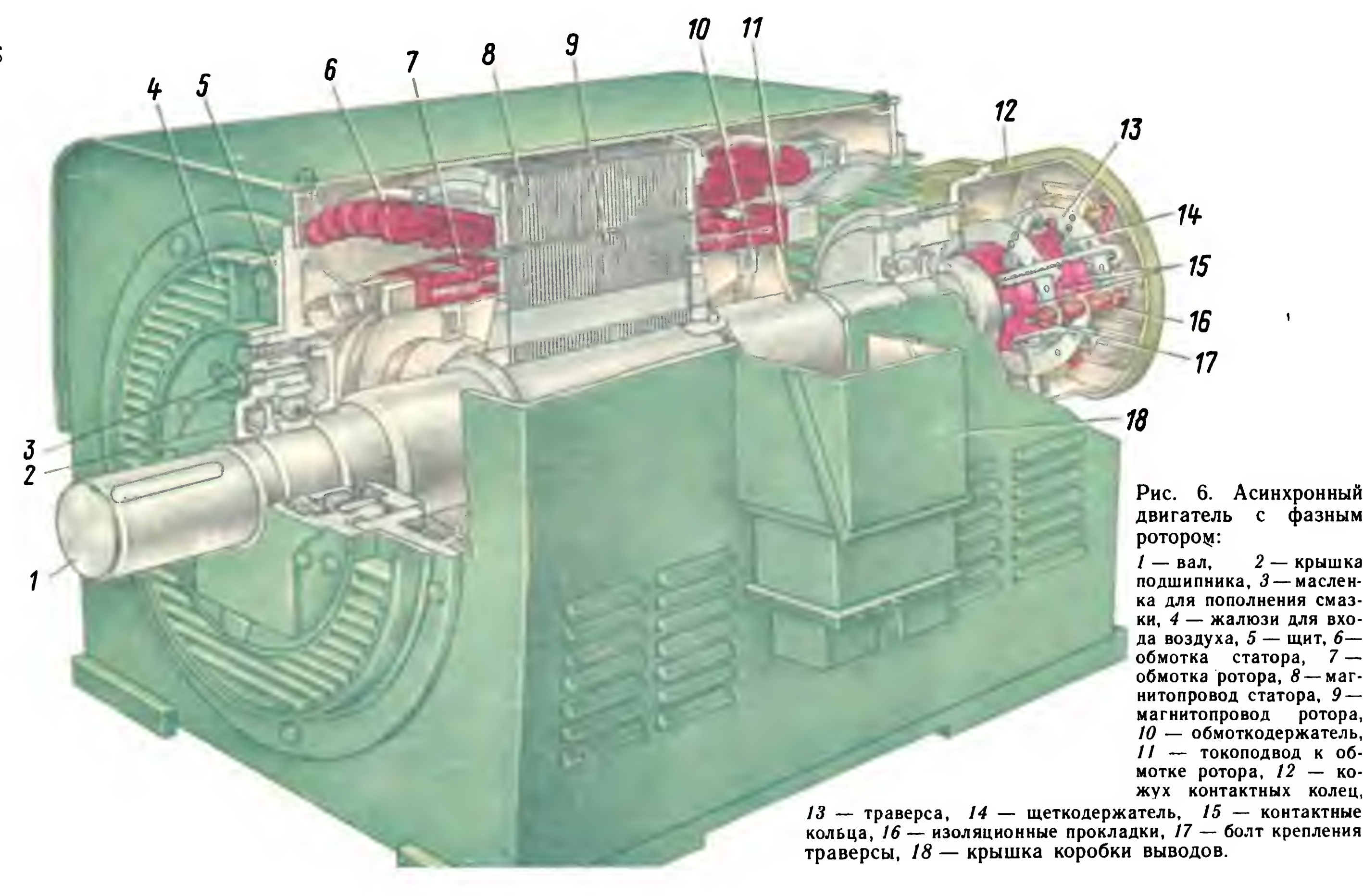


Рис. 6. Асинхронный двигатель с фазным ротором:

1 — вал, *2* — крышка подшипника, *3* — масленка для пополнения смазки, *4* — жалюзи для входа воздуха, *5* — щит, *6* — обмотка статора, *7* — обмотка ротора, *8* — магнитопровод статора, *9* — магнитопровод ротора, *10* — обмоткодержатель, *11* — токоподвод к обмотке ротора, *12* — кожух контактных колец, *13* — траверса, *14* — щеткодержатель, *15* — контактные кольца, *16* — изоляционные прокладки, *17* — болт крепления траверсы, *18* — крышка коробки выводов.

вентиляционными лопатками. Такое устройство имеют почти все современные асинхронные двигатели мощностью до 300—400 кВт. Это объясняется, в первую очередь, тем, что изготовление обмотки методом заливки пазов алюминием дешевле, технологичней и требует меньших затрат рабочего времени, чем изготовление обмотки из вставных стержней. Кроме того, в роторах с литой обмоткой могут быть выполнены пазы сложной конфигурации. Эта возможность используется, например, в двигателях, предназначенных для работы с приводами, имеющими тяжелые условия пуска. Пазы роторов таких двигателей выполняются не круглыми или прямоугольными, как в роторах с обмоткой из вставных стержней, а с сужающимися в верхней части фигурными (грушевидными или трапецеидальными) пазами, что значительно улучшает пусковые характеристики двигателей. Недостатком двигателей с короткозамкнутыми роторами является резкое увеличение тока во время пуска: пусковой ток может в шесть-семь раз превышать номинальный. Несмотря на это, асинхронные короткозамкнутые двигатели из-за простоты конструкции и удобства эксплуатации — самые распространенные электрические двигатели.

Машины постоянного тока. Недостатком синхронных и асинхронных двигателей является отсутствие простых способов регулирования частоты их вращения. Поэтому в приводах механизмов, в которых требуется регулировать скорость в процессе работы, — в некоторых станках, например в станках с числовым программным управлением (ЧПУ), в подъемных устройствах, на железнодорожных электровозах и другом транспорте на электротяге — применяют двигатели постоянного тока, частота вращения которых может быть плавно изменена в широких пределах.

Использование машин постоянного тока в качестве генераторов в настоящее время сокращается. Постоянный ток получают от статических преобразователей.

В машинах постоянного тока (рис. 7) катушки обмоток возбуждения располагаются на полюсах, которые крепятся на статоре. Ток возбуждения постоянный, поэтому магнитный поток в статоре тоже постоянный. Это позволяет статоры машин делать не шихтованными, как в синхронных и асинхронных машинах, а более дешевыми и прочными — массивными из стали или чугуна. Поэтому надобность в специальном корпусе машины отпадает. Статор машины постоянного тока называют станиной. На ее внутренней поверхности закрепляются главные полюсы с обмоткой возбуждения. На наружной поверхности станины имеются лапы для крепления машины к фундаментной плите и рым-болт для подъема и монтажа машины.

Ротор машины постоянного тока называют якорем. В обмотке якоря протекает переменный ток и магнитный поток в его сердечнике переменный, поэтому сердечник якоря делают шихтованным из листов электротехнической стали. Обмотка якоря

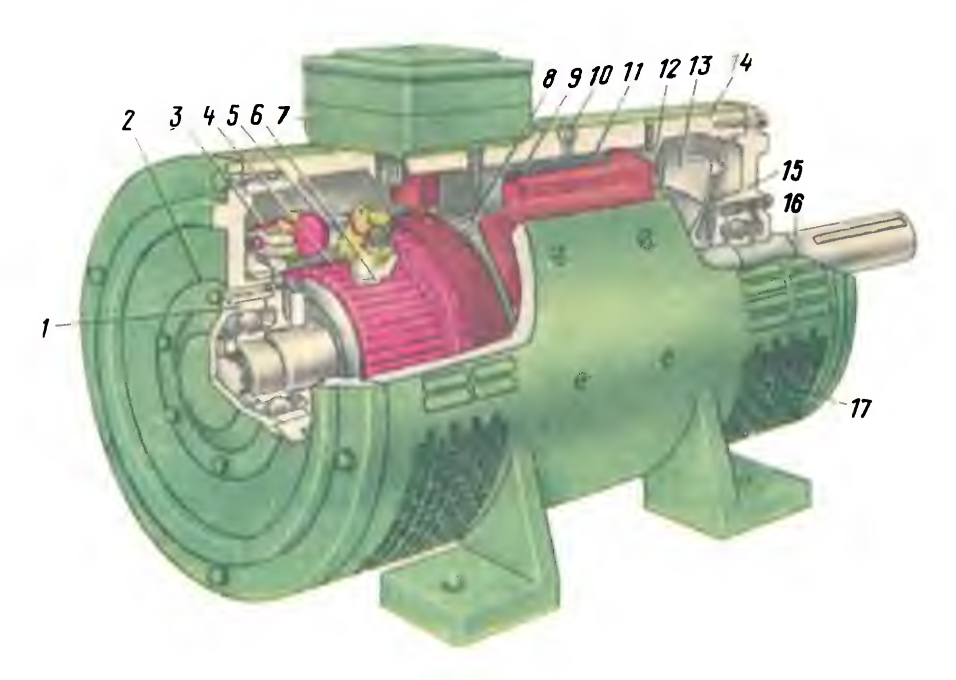


Рис. 7. Машина постоянного тока:

1 — подшипник, *2* — задний подшипниковый щит, *3* — траверса щеткодержателей, *4* — коллектор, *5* — палец щеткодержателя, *6* — щетки, *7* — коробка выводов, *8* — якорь, *9* — обмотка полюса, *10* — болт крепления полюсов, *11* — сердечник полюса, *12* — воздухонаправляющий щиток, *13* — вентилятор, *14* — корпус, *15* — передний подшипниковый щит, *16* — вал, *17* — жалюзи для входа воздуха

соединена с коллектором, расположенным на одном валу с якорем. Коллектор представляет собой цилиндр, собранный из отдельных изолированных друг от друга медных пластин, каждая из которых соединяется с витками обмотки.

Коллекторные пластины при вращении якоря скользят под плотно прилегающими к поверхности коллектора неподвижными щетками. Щетки соединяются с сетью постоянного тока. Вращающийся коллектор и неподвижные щетки являются преобразователем тока: в двигателях они преобразуют постоянный ток сети в переменный ток якоря, в генераторах, наоборот, переменный ток якоря в постоянный ток сети.

При вращении коллектора щетки через его пластины поочередно соединяются с разными витками обмотки. При этом беспрерывно происходят замыкания и разрывы контактов между пластинами коллектора и щетками. Этот процесс называют *коммутацией*. Он может сопровождаться искрением под щетками. При хорошей коммутации искрение под щетками почти незаметно, при плохой большие искры могут повредить пластины коллектора и машина выйдет из строя. Чтобы улучшить коммута-

цию, на станине помимо главных полюсов с обмоткой возбуждения устанавливают добавочные полюсы. Магнитные потоки добавочных полюсов несколько изменяют магнитное поле машины, и коммутация улучшается.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для чего и где применяют различные электрические машины?

2. Назовите основные части электрической машины и укажите их назначение.

3. Назовите основные типы электрических машин. Чем они отличаются друг от друга?

4. Каковы основные виды потерь в электрических машинах и от чего они зависят?

5. Что называют коэффициентом полезного действия электрической машины?

6. К какому типу электрических машин относятся установленные на электростанциях турбогенераторы и гидрогенераторы?

7. Для привода каких механизмов используются двигатели постоянного тока?

8. В чем заключается преимущество асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором перед другими двигателями?

9. Какую роль играет коллектор в машинах постоянного тока?

ГЛАВА II

ИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗОЛЯЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

§ 4. ТРЕБОВАНИЯ К ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Изоляция любой детали электрической машины должна сохранять высокую надежность в течение всего периода эксплуатации машины, поэтому к ней предъявляют разносторонние требования, главным из которых является высокая *электрическая прочность.*

Если поместить лист электроизоляционного материала между двумя электродами и постепенно повышать напряжение между ними, то при каком-то значении напряжения произойдет пробой: электрический разряд пройдет сквозь слой изоляции и электроды замкнутся. Это напряжение называется *пробивным.* Чем выше пробивное напряжение, тем больше электрическая прочность изоляции. Современные электроизоляционные материалы имеют очень высокое пробивное напряжение, например пробивное напряжение пленки лавсана толщиной 0,05 мм достигает 9,5 кВ.

Однако такие высокие пробивные напряжения имеют изоляционные материалы непосредственно после изготовления. Любые механические воздействия (изгибы, растяжения и т. д.) уменьшают их электрическую прочность.

В процессе изолирования различных деталей электрической машины изоляционный материал приходится неоднократно изгибать, формовать, придавая ему нужную конфигурацию, опрессовывать, добиваясь монолитности слоев изоляции, и т. п. Во время укладки обмотки в пазы ее изоляция подвергается изгибам, растяжению, иногда ударам и другим механическим воздействиям. Поэтому к изоляционным материалам, применяемым в электрических машинах, помимо высокой электрической прочности, предъявляют также ряд требований, определяемых технологией изготовления изоляции: материал должен легко формоваться и сохранять после формовки приданную ему форму, не расслаиваться во время обработки и наложения изоляции, не повреждаться при перегибах и растяжениях, при сжатии, опрессовке и укладке в пазы.

В процессе работы машины изоляция подвергается вибрации, большим механическим напряжениям при резких изменениях тока, а кроме того, на изоляцию вращающихся деталей электрической машины действуют центробежные силы. Поэтому второе требование к изоляции электрических машин — ее высокая *механическая прочность.*

С течением времени свойства изоляции ухудшаются. Она высыхает, становится хрупкой, ломкой и теряет механическую и электрическую прочность. Этот процесс называют старением. Процесс старения изоляции ускоряется при ее нагревании. При небольшом нагреве свойства изоляции ухудшаются медленно, но если температура превысит определенный уровень, то этот процесс резко ускоряется. Уровень длительно допускаемой температуры определяет нагревостойкость изоляции.

ГОСТ 8865—70 разделяет все электроизоляционные материалы по нагревостойкости на семь классов, обозначаемых латинскими буквами: Y, A, E, B, F, H и C. Нагревостойкость изоляционных материалов для классов Y—90°С, А — 115, Е — 120, В — 130, F — 150, Н — 180, С — более 180°С.

Нагрев электрической машины определяется не только потерями, но и температурой окружающей среды. Поэтому тепловое состояние машины оценивают по превышению температуры ее частей над температурой окружающего воздуха, которая принимается равной 40°С. ГОСТ 183—74 устанавливает предельно допустимые превышения температуры обмоток в зависимости от типа машины и класса нагревостойкости их изоляции.

Способность изоляции проводить теплоту от проводников обмотки к окружающему воздуху называется ее *теплопроводностью.* Проводники, окруженные слоем изоляции из материала, плохо проводящего теплоту, будут нагреваться сильнее, чем при ее хорошей теплопроводности, их температура возрастет и про-

цесс старения изоляции ускорится. Чтобы избежать этого, для изоляции применяют материалы с высокой теплопроводностью, а выполняют ее по возможности без включений воздуха. Для этого катушки обмоток после наложения на них изоляции или после укладки обмотки в пазы пропитывают электроизоляционными лаками. Лак заполняет все пустоты между слоями изоляции и проводниками обмотки, повышает теплопроводность и механическую прочность изоляции.

На электрическую прочность изоляции в большой степени влияет содержание в ней влаги, в то же время электрические машины не всегда работают в помещениях с сухим воздухом. Если материал изоляции пористый, то влага из воздуха проникает в его поры и резко уменьшает электрическую прочность. Свойство материала впитывать влагу из воздуха называют *гигроскопичностью.* Чтобы электрическая прочность изоляции не снижалась во влажных помещениях, она должна быть мало гигроскопична. Это качество изоляции называют *влагостойкостью.* Пропитка в лаках резко улучшает влагостойкость изоляции, так как лак препятствует проникновению влаги внутрь изоляции.

Таким образом, чтобы при изготовлении обмоток, укладке их в пазы и во время работы машины изоляция сохранила достаточную электрическую прочность, она должна быть монолитна, иметь высокую механическую прочность, нагревостойкость, теплопроводность, влагостойкость, а в необходимых случаях также маслостойкость и химостойкость.

§ 5. ИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Изоляционные материалы, применяемые для изоляции электрических машин, можно разделить на несколько групп: синтетические, материалы, изготовленные на основе слюды, стекловолокнистые, т. е. изготовленные из стеклянных волокон, и материалы, основой которых служат целлюлоза и хлопчатобумажные волокна. В некоторых конструкциях для изоляции применяются также материалы, полученные из асбеста; пряжа, ткани, бумаги и картоны.

Основными материалами для изоляции обмоток машин низкого (до 660 В) напряжения являются синтетические: различные полиэтилентерефтатные (ПЭТФ) пленки типа лавсан, полиамидные бумаги и картоны и др.

Пленки имеют малую толщину (0,05—0,06 мм) и большую электрическую прочность. Их применяют в сочетании с подложками из бумаги или картона, улучшающими механические свойства изоляции. При этом электрическая прочность и нагревостойкость такого композиционного материала, например, пленкоэлектрокартона, определяются как свойствами самой пленки, так и подложки.

Полиамидные материалы — бумаги и картоны типа «Но-

мекс» — могут применяться в сочетании с пленками и без них. Они имеют высокие электроизоляционные и механические свойства и сохраняют работоспособность при температуре до 200°С даже во влажной атмосфере. Материал «Номекс-411» применяют в качестве подложек синтетических пленок, например, для междуфазной изоляции электрических машин. «Номекс-410» используется без пленок в качестве пазовой изоляции низковольтных машин.

Для изоляции обмоток высоковольтных электрических машин с номинальным напряжением 3000 В и выше применяют изоляционные материалы на основе *слюды*. Слюда — минерал. Она встречается в природе в виде кристаллов, которые легко расщепляются на пластины. Тонкие пластины — лепестки толщиной менее сотой доли миллиметра называют щепаной слюдой. Склеивая лепестки слюды, получают различные электроизоляционные материалы — *миканиты*. Для увеличения их механической прочности лепестки слюды в некоторых материалах наклеивают на подложку из бумаги или стеклоткани. Подложки, которые могут быть с одной или с обеих сторон лепестков слюды, кроме того, предохраняют их от расслаивания при изгибе материала. В зависимости от сорта слюды, способов изготовления, клеящего лака, наличия или отсутствия подложек различают несколько сортов миканита.

Твердые миканиты изготовляют без подложек, горячим прессованием пластинок слюды и термореактивных связующих. Они применяются для получения плоских, не подвергающихся изгибам изоляционных прокладок и имеют большую механическую прочность. К твердым миканитам относится, например, коллекторный, из которого изготовляют прокладки для изоляции коллекторных пластин друг от друга.

Формовочные миканиты в отличие от твердых после изготовления сохраняют способность принимать ту или иную форму при прессовании в нагретом состоянии и сохранять ее после охлаждения. Они применяются в основном для изоляции коллекторов (фигурные коллекторные манжеты), различных втулок, каркасов катушек и других фасонных изоляционных деталей. К особой разновидности формовочного миканита относят микафолий — тонкий листовой материал, состоящий из пластинок слюды, наклеенных на подложку из бумаги или стеклоткани (стекломикафолий). Он используется для изготовления твердой гильзовой изоляции обмоток. Микафолий с бумажной подложкой относится к классу нагревостойкости В. Стекломикафолий в зависимости от связующего состава может быть использован в изоляции классов В, F или Н.

Гибкие миканиты отличаются от твердых и формовочных гибкостью при нормальной температуре, которую они сохраняют после нагрева и охлаждения. Они применяются для изоляции различных частей обмоток в пазовой и лобовой частях, прокладок и т. п. Разновидностью гибкого миканита является мика-

лента — ленточный материал из склеенных пластинок слюды с двусторонней подложкой из микалентной бумаги или стеклоленты (стекломикалента). Толщина микалент 0,13 или 0,17 мм. Их применяют главным образом для изоляции обмоток высоковольтных машин. В зависимости от клеящего состава и материала подложек микаленты относятся к классам нагревостойкости B, F или H. Микалента поступает в изолировочные цехи свернутой в ролики и упакованной в плотно закрытые жестяные коробки. Вынутая из коробки микалента должна быть сразу же использована, так как на воздухе она быстро пересыхает и становится непригодной.

Изготовление материалов на основе щепаной слюды — чрезвычайно трудоемкий процесс и до сих пор не механизированный, так как требуется предварительное расщепление кристаллов слюды на пластины (отсюда название — щепаная слюда), их калибровка и равномерная наклейка по слоям на подложку.

В настоящее время применяют материалы, в которых используются не пластины слюды, а ее мелкие чешуйки, полученные механическим раздроблением кристаллов. Из чешуек изготовляют слюдинитовую бумагу, которая служит основой для ряда изоляционных материалов, аналогичных миканитам. С помощью связующих материалов и подложек из стеклоткани получают коллекторный и формовочный слюдиниты, гибкие слюдиниты и стеклослюдиниты, слюдинитофолий и стеклослюдинитофолий, слюдинитовые и стеклослюдинитовые ленты и другие материалы. Эти материалы вполне заменяют миканиты и в то же время они много дешевле и технологичнее, чем изоляционные материалы на основе щепаной слюды.

Из более крупных чешуек слюды изготовляют слюдопластовые материалы, аналогичные слюдинитовым, но имеющие более высокие механические свойства (коллекторный, формовочный и прокладочный слюдопласт, слюдопластофолий, слюдопластовые ленты и т. п.). Эти материалы не уступают по своим электрическим свойствам соответствующим сортам миканитов, но превосходят их по гибкости, поэтому широко используются в современных изоляционных конструкциях.

Изоляционные материалы, изготовленные из стеклянного волокна — стеклоленты и стеклоткани, обладают высокой нагревостойкостью и большой прочностью на разрыв, но они нестойки к истиранию и повреждаются при многократных изгибах. Их используют как вспомогательные при изолировании обмоток, а также в качестве подложек для изготовления стекломиканитов и композиционных материалов на основе слюдинитов, например стеклолакослюдинита. Пропитка лаком повышает их механическую прочность, но снижает нагревостойкость, так как сами стекловолокнистые материалы имеют бóльшую нагревостойкость, чем пропитывающие лаки.

Среди стекловолокнистых материалов следует выделить стеклоленты из нетканого стекловолокна, имеющие очень большую

прочность на разрыв. Их применяют для бандажирования лобовых частей обмоток, расположенных на роторах, вместо ранее применявшейся для этой цели стальной бандажной проволоки.

Из целлюлозы делают различные бумаги и электрокартон, а из хлопчатобумажной пряжи — полотна и ленты. Электрическая прочность этих материалов невелика, но они дешевы, легко формуются, изгибаются и имеют сравнительно большую механическую прочность. Их применяют для механической защиты других, менее прочных изоляционных материалов и в качестве различных прокладок. По нагревостойкости они относятся к классу Y. Пропитка лаком повышает их нагревостойкость до класса А. Пропитанные лаком хлопчатобумажные ткани носят название *лакотканей*. Ранее их широко применяли в обмотках классов нагревостойкости изоляции А. В изоляции современных машин вместо хлопчатобумажных лент и тканей почти всегда применяют стеклоленты и стеклоткани.

Изоляционные материалы на основе асбеста обладают высокой нагревостойкостью и механической прочностью, но в электрических машинах находят ограниченное применение из-за их низкой теплопроводности и высокой гигроскопичности.

§ 6. ОБМОТОЧНЫЕ ПРОВОДА

Обмотки электрических машин выполняют из медных круглых или прямоугольных обмоточных проводов. Их обозначают буквами, первая из которых — П — определяет название — провод, а следующие буквы характеризуют проводниковую изоляцию. Большинство обмоток низковольтных машин выполняют из проводов с эмалевой изоляцией (ПЭВ-2, ПЭТВ, ПЭТ и др.). Основное их преимущество перед другими проводами заключается в малой толщине изоляции (около 0,05 мм на одну сторону). Для обмоток высоковольтных машин наиболее часто применяют провода ПСД и ПСДК с изоляцией из стеклянного волокна, пропитанного лаками.

Изоляция проводников, как и другие виды изоляции, подразделяется на классы по нагревостойкости. Так, изоляция провода ПЭВ-2 относится к классу нагревостойкости А или Б, ПЭТВ — к классу В, ПЭТ-155 — к классу F. Изоляция проводов ПСД относится в зависимости от лака, которым пропитывается обмотка, к классу нагревостойкости В или F, а проводов ПСДК — к классам F или Н.

На большинстве современных электромашиностроительных заводов намотка обмотки из круглых проводов механизирована. При механической укладке проводов в пазы их изоляция подвергается значительно большим механическим воздействиям, чем при укладке обмотки вручную. Поэтому промышленность выпускает специальные обмоточные провода с повышенной прочностью эмалевого изоляционного слоя. В конце буквенного обо-

значения таких проводов ставят букву М, например провода ПЭВМ, ПЭТМ.

Размеры обмоточных проводов, выпускаемых промышленностью, регламентированы ГОСТом. Существуют таблицы, в которых указаны диаметры круглых или размеры прямоугольных проводов и виды их изоляции, площадь поперечного сечения провода и максимальные размеры изолированного обмоточного провода. Иногда толщина изоляции обмоточного провода указывается в отдельных таблицах в зависимости от вида изоляции и размера проводов.

В табл. 1 приведены диаметры и площади поперечных сечений круглых обмоточных проводов с эмалевой изоляцией, наиболее часто применяемых в низковольтных электрических машинах общего назначения. Обмотки машин мощностью более 100 кВт и высоковольтных выполняют из прямоугольных обмоточных проводов.

Таблица 1. **Диаметры и площади поперечных сечений круглых медных эмалированных проводов ПЭТВ и ПЭТ-155**

Диаметр неизолированного провода, мм	Средний диаметр изолированного провода, мм	Площадь поперечного сечения неизолированного провода, мм^2	Диаметр неизолированного провода, мм	Средний диаметр изолированного провода, мм	Площадь поперечного сечения неизолированного провода, мм^2
0,20	0,23	0,0314	0,71	0,77	0,396
(0,212)	0,242	0,0353	0,75	0,815	0,442
0,224	0,259	0,394	0,80	0,865	0,503
(0,236)	0,271	0,0437	0,85	0,915	0,567
0,25	0,285	0,0491	0,90	0,965	0,636
(0,265)	0,30	0,0552	0,95	1,015	0,709
0,28	0,315	0,0616	1,00	1,08	0,785
(0,30)	0,335	0,0707	1,06	1,14	0,883
0,315	0,350	0,0779	1,12	1,20	0,985
0,335	0,379	0,0881	1,18	1,26	1,094
0,355	0,395	0,099	1,25	1,33	1,227
0,375	0,415	0,1104	1,32	1,405	1,368
0,40	0,44	0,1257	1,40	1,485	1,539
0,425	0,465	0,1419	1,50	1,585	1,767
0,45	0,49	0,159	1,60	1,685	2,011
(0,475)	0,515	0,1772	1,70	1,785	2,27
0,50	0,545	0,1963	1,80	1,895	2,54
(0,53)	0,585	0,221	1,90	1,995	2,83
0,56	0,615	0,246	2,0	2,095	3,14
0,60	0,655	0,283	2,12	2,22	3,53
0,63	0,69	0,312	2,24	2,34	3,94
(0,67)	0,73	0,353	2,36	2,46	4,36
			2,50	2,60	4,91

Примечание. Провода, размеры которых указаны в скобках, следует применять только в отдельных случаях при обосновании технико-экономической целесообразности.

Отдельные виды обмоток из проводников большого сечения изготовляют из неизолированных прямоугольных проводов или из шинной меди. Их изолируют перед установкой в машину. Обычно такие обмотки выполняют в фазных роторах асинхронных двигателей и в машинах постоянного тока.

§ 7. МЕТОДЫ ИЗОЛИРОВАНИЯ ТОКОПРОВОДЯЩИХ ЧАСТЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Изолирование токопроводящих частей электрических машин выполняется несколькими способами: обертыванием непрерывным ленточным материалом токоведущей части по всей ее длине, обертыванием листовым изоляционным материалом детали или ее части, установкой различных прокладок или изоляционных шайб. Способ изолирования выбирают в зависимости от конструкции и назначения токоведущей части, ее расположения в машине, от напряжения машины и требований к ее изоляции.

Изолирование ленточным материалом. Непрерывная изоляция выполняется из ленточных изоляционных материалов: слюдинитовых или слюдопластовых лент, микаленты, стекломикаленты и т. п. Ее можно накладывать на отдельный проводник, на несколько проводников одновременно или на всю сторону катушки обмотки. Различают несколько способов наложения ленточной изоляции: вразбежку, впритык, с нахлестом одного витка на другой (рис. 8). Вразбежку ленту наматывают для скрепления проводников катушки друг с другом. Лента, наложенная впритык, защищает наружную поверхность изолированной катушки от возможных механических повреждений, но не создает слоя изоляции, так как в местах соприкосновения витков ленты изоляция отсутствует. Для создания слоя электрической изоляции витки ленты располагают с нахлестом. Ленту можно наматывать так, чтобы половина ширины витка ложилась на предыдущий виток (см. рис. 8), а половина — на изолируемую поверхность. Такой способ называется наложением ленты вполнахлеста или вполперекроя. В результате получается ровный слой изоляции толщиной, равной двойной толщине ленты.

Витки ленты могут быть наложены так, что они перекроют друг друга только на $^1/_3$ ширины. Толщина слоя изоляции при этом получается неравномерной. Такой способ называют изолированием втретьнахлеста или втретьперекроя. Изолирование с нахлестом независимо от того, как наложена лента (вполнахлеста или втретьнахлеста), создает слой изоляции, электрическая прочность которого определяется толщиной только одного слоя ленты, так как всегда остаются участки, на которых между изолированной деталью и наружной поверхностью расположен только один слой ленты. На рис. 8 эти участки отмечены цифрами *1—1*. При изоляции втретьнахлеста их длина больше, в то же время общая толщина нанесенных слоев ленты одина-

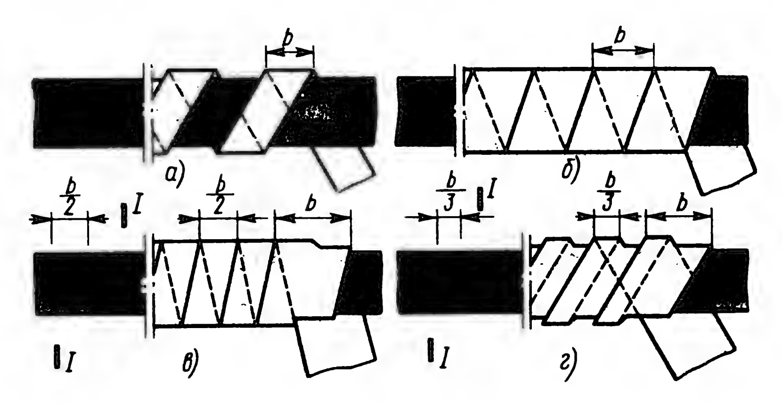


Рис. 8. Способы наложения изоляции:
а — вразбежку, *б* — впритык, *в* — вполнахлеста, *г* — втретьнахлеста

кова при обоих способах наложения изоляции. Поэтому для большей надежности почти во всех случаях непрерывную изоляцию накладывают вполнахлеста, несмотря на то, что при этом расходуется несколько больше изоляционного материала.

Наложение непрерывной изоляции вручную — трудоемкая операция. Для нанесения каждого витка ролик ленты необходимо обвести вокруг изолируемых проводников. Для этого приходится перехватывать его попеременно то одной, то другой рукой. Лента должна ложиться ровно, без морщин, с заданным нахлестом. Натяжение ленты при изолировании должно быть постоянным, а витки должны плотно прижиматься друг к другу. Для этого каждый виток или, в крайнем случае, несколько витков необходимо утягивать свободной от ролика рукой, поправляя и разглаживая наложенную ленту.

В обмоточном производстве для механизации этой операции созданы устройства, позволяющие наносить непрерывную изоляцию на проводники или на стороны катушек с заданным нахлестом.

Для наложения непрерывной изоляции на обмоточные провода применяют, например, механический обмотчик (рис. 9). Обмоточный провод *1*, на который нужно нанести слой непрерывной изоляции, пропускают в отверстие диска *2*. На штырях диска устанавливаются на барабанах один или два рулона с изоляционной лентой *3*. При вращении диска лента из рулона обертывается вокруг провода. Скорость движения провода и частота вращения диска согласованы так, что за время одного оборота диска провод продвигается на половину ширины ленты. Таким образом на него накладывается непрерывная изоляция вполнахлеста при одном рулоне с лентой в один слой и при двух рулонах — сразу в два слоя. Для создания нужного натяжения ленты барабаны с рулонами притормаживают.

Механический обмотчик рассчитан только для изолирования проводов, так как их можно продеть сквозь центральное отвер-

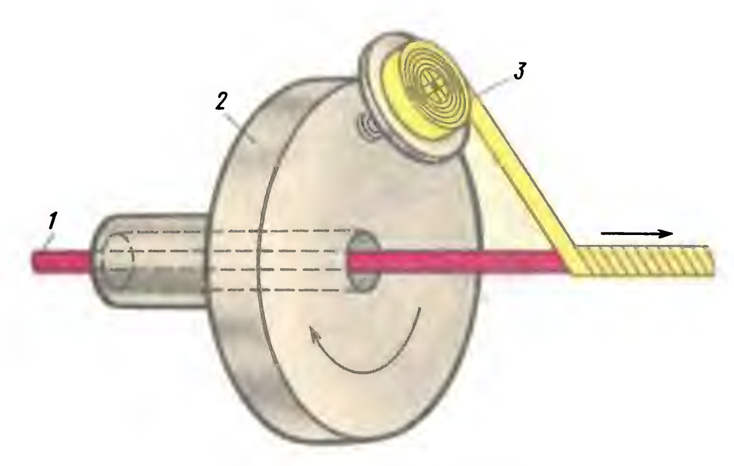


Рис. 9. Механический обмотчик

стие диска. Для изоляции замкнутых катушек применяют обмоточные головки (рис. 10), основной частью которых является кольцо *1* с вырезом. В вырез пропускают сторону изолируемой катушки *2*. Кольцо вращается приводным ремнем *6* от шкива *5* двигателя. Ролики *3* и *8* служат для натяжения ремня и прижимают его к внешней поверхности вращающегося кольца. На кольце устанавливается один ролик *7* (или два) с ленточным изоляционным материалом. Конец ленты закрепляется на стороне изолируемой катушки *2*. При вращении кольца лента обматывает стороны катушки. Направляющие ролики *4* служат для выравнивания ленты и ее натяжения при изолировании. Во время работы обмоточной головки изолируемая катушка продвигается вдоль оси вращения кольца. Частота вращения кольца, скорость движения (подача) катушки и ширина ленты согласуются таким образом, чтобы лента ложилась с определенным перекрытием витков так же, как и в механическом обмотчике.

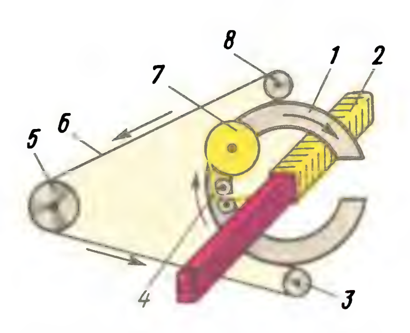


Рис. 10. Принципиальная схема работы обмоточной головки (стрелками показано направление движения приводного ремня и рабочего кольца)

Обмоточные головки используются в изолировочных станках с автоматической или ручной подачей катушки. Обмоточные головки такой конструкции могут служить для изолирования катушек с большим расстоянием между сторонами, так как во время работы ролики с лентой обегают вокруг изолируемой детали.

Для наложения непрерывной изоляции на полюсные катушки с малыми внутренними размерами пользуются обмоточными головками другого типа, работающими по принципу челнока (рис. 11)

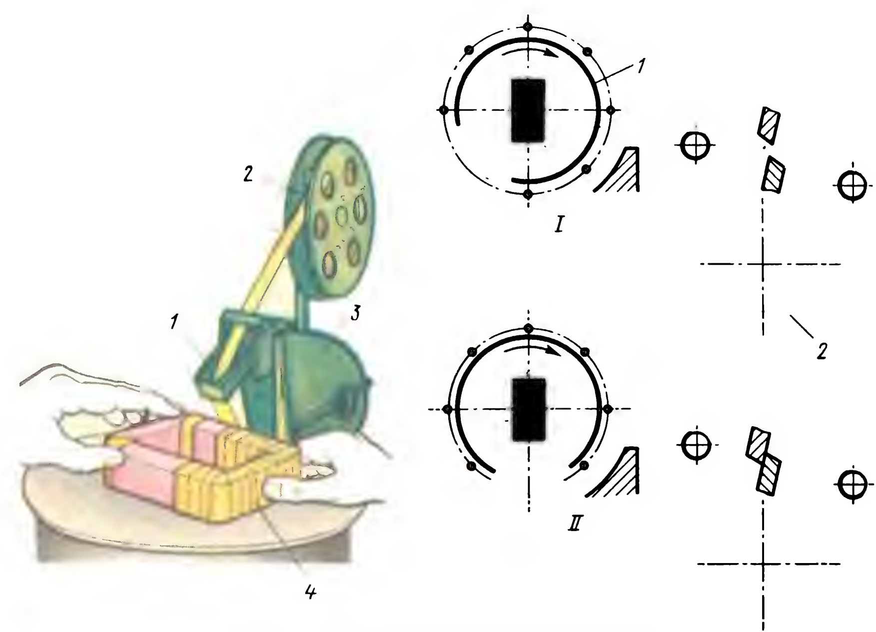


Рис. 11. Челночная обмоточная головка

Шестерня-челнок *1*, вращающаяся от приводного двигателя в корпусе головки *3*, имеет вырез для прохода стороны изолируемой катушки *4*. Такой же вырез имеется в корпусе. Сторона катушки с намотанными на нее и закрепленными несколькими витками ленточной изоляции устанавливается по оси вращения изолировочной головки (положение *I*). Ролик с лентой *2* размещается рядом с головкой. При вращении шестерни-челнока лента сматывается с ролика и изолирует катушку. Одновременно такое же количество ленты наматывается в желоб на внешней поверхности шестерни-челнока. Когда изолирована половина катушки, ленту отрезают (положение *II*) и при дальнейшем вращении шестерни-челнока для изолирования используется ранее намотанная на нее лента.

Обертывание листовым изоляционным материалом. Листовой изоляционный материал применяют для изоляции прямолинейных частей катушек обмотки, расположенных в пазах машины. Листы материала раскраивают на «простынки» по размеру изолируемой части катушки. Простынку обертывают несколько раз вокруг стороны катушки, уплотняют наложенные слои в обкаточных станках, опрессовывают и запекают. Образуется гильзовая изоляция или, как ее часто называют, гильза, имеющая высокую электрическую и механическую прочность. Гильзовая изоляция применяется, например, для обмоток машин высокого напряжения.

Обмотки машин низкого напряжения также изолируют лис-

товым изоляционным материалом, но в обмотках из круглого провода он не может быть наложен на катушки до укладки их в пазы из-за узкого шлица паза. Изоляцию устанавливают не на катушки, а в пазы до укладки обмотки в виде пазовых коробов. Они создают сплошной слой изоляции вокруг проводников, находящихся в пазах электрической машины.

Установка прокладок. Способ изолирования с помощью различных прокладок или шайб из изоляционного материала очень широко распространен в электрических машинах. Нарезанные полосками прокладки служат для усиления изоляции между витками катушек, для изоляции между слоями обмоток, для механической защиты основной изоляции от повреждений и т. п. Прокладки устанавливают также для изоляции обмоткодержателей и под проволочными бандажами в якорях машин постоянного тока и роторах фазных асинхронных двигателей. Из коллекторного миканита выполняют изоляционные прокладки между пластинами коллекторов, из формовочного миканита и стекломиканита — коллекторные манжеты и изоляцию сердечников полюсов крупных синхронных машин и т. п.

§ 8. ВИДЫ И КОНСТРУКЦИЯ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК

Конструкция изоляции обмоток определяется номинальным напряжением и конструкцией самой машины, а также конфигурацией ее пазов. По своему назначению изоляция подразделяется на корпусную, междуфазовую, витковую и проводниковую. Корпусная изоляция служит для изоляции витков обмотки от корпуса и от других металлических частей машины, витковая — для изоляции витков одной катушки друг от друга, проводниковая — одного проводника от другого, междуфазовая — одной фазы обмотки от других фаз.

Пазы электрической машины могут иметь различную конфигурацию. В статорах электрических машин переменного тока мощностью до 100 кВт на напряжение до 660 В делают полузакрытые пазы (рис. 12,*а*), в которые укладывают обмотку из круглого провода *1*. На рисунках условно (без соблюдения масштаба) показано расположение проводников и изоляции. Корпусная изоляция устанавливается в пазы до укладки обмотки. Она выполняется в виде короба *2* из одного или нескольких слоев. Витковой изоляцией в таких обмотках является изоляция отдельных проводников. Если в пазах располагаются стороны двух разных катушек — двухслойная обмотка (рис. 12,*б*), то между ними по высоте паза устанавливают междуфазовую изоляцию — прокладки *6*, изолирующие проводники разных катушек друг от друга. Проводники обмотки закрепляются в пазах пазовыми крышками *3* или пазовыми клиньями *4*. Под клин устанавливают прокладку *5*. В лобовых частях между катушками разных фаз располагают междуфазовую изоляцию в виде

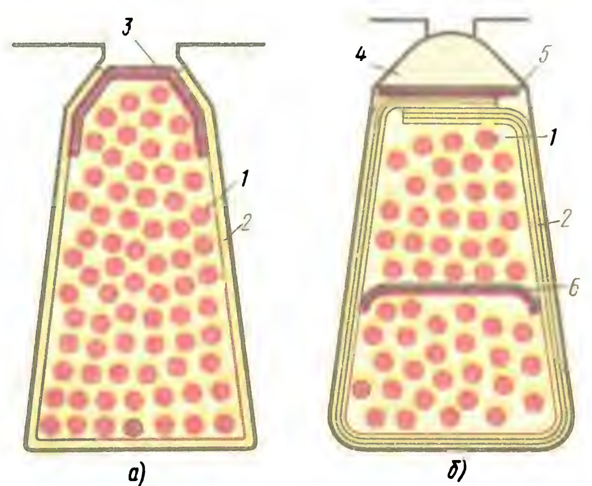


Рис. 12. Поперечные сечения полузакрытых пазов с обмоткой из круглого провода:
а — однослойной, *б* — двухслойной

фасонных прокладок из листового изоляционного материала.

Статоры машин переменного тока с номинальным напряжением до 660 В при мощности более 100 кВт имеют полуоткрытые пазы (рис. 13), в которые укладывается обмотка из прямоугольного провода. Корпусная изоляция имеет такую же конструкцию, как и в обмотках из круглого провода. Изоляционный короб *2* устанавливается в пазы до укладки обмотки и состоит из нескольких слоев изоляционного материала. Обмотка закрепляется в пазу клином *1*. Помимо прокладок *4* между сторонами разных катушек в пазу устанавливают прокладки из механически прочного изоляционного материала на дно паза *3* и под клин *5*.

Обмотки всех машин на напряжение 3000 В и выше, а также машин специального исполнения на любое напряжение, например влагостойких, выполняются из прямоугольного провода и укладываются в открытые пазы (рис. 14). Катушки обмотки изолируются до укладки в пазы. Корпусная изоляция их пазовой части *6* может быть выполнена либо в виде сплошной гильзы, либо непрерывной намоткой ленточного изоляционного материала. Электрическая и механическая прочность гильзовой изоляции более высокая, но она имеет существенный недостаток — гильзу можно выполнить только на прямолинейных участках катушек — их пазовых частях. Изоляция лобовых частей выполняется непрерывной. На стыках двух видов изоляции — гильзовой и непрерывной вблизи выхода прямолинейной части катушек из паза сплошной слой изоляции нарушается. Поэтому в местах стыков появляется наибольшая опасность пробоя изо-

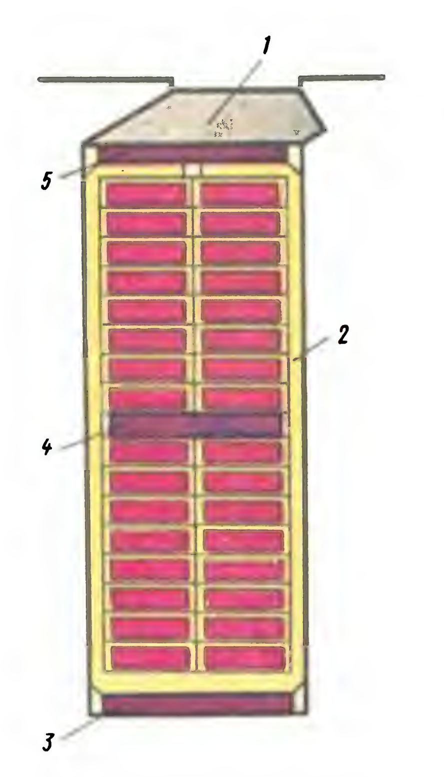


Рис. 13. Поперечное сечение полуоткрытого паза с обмоткой

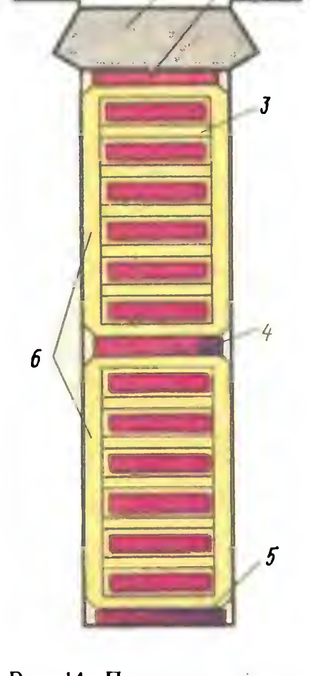


Рис. 14. Поперечное сечение открытого паза с обмоткой

ляции. При изготовлении катушек с гильзовой изоляцией приходится принимать специальные меры для обеспечения необходимой электрической прочности этих участков.

Большинство обмоток высоковольтных машин делают с непрерывной изоляцией, которая накладывается и на пазовые, и на лобовые части катушек. Ее выполняют из стекломикаленты, слюдинитовых или слюдопластовых лент. Лента накладывается вполнахлеста в несколько слоев. Число слоев зависит от номинального напряжения машины и может быть большим, например число слоев пазовой изоляции обмотки высоковольтной машины на напряжение 10 кВ достигает 10—12. Лобовую часть обмоток изолируют меньшим числом слоев той же ленты. При этом в отличие от гильзовой изоляции образуется сплошной непрерывный изоляционный слой по всей поверхности катушки.

Между витками обмотки (см. рис. 14) устанавливают витковую изоляцию *3*. Она выполняется непрерывной по всей их длине в пазовой и лобовых частях витка или в виде прокладок между витками. В открытых пазах устанавливают также прокладки на дно паза *5* и под клин *2* для предохранения корпусной изоляции от механических повреждений и между сторонами катушек

по высоте паза *4* для создания между ними определенного расстояния в пазу и в лобовых частях. Стороны катушек закрепляются в пазу клином *1*.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие требования предъявляют к изоляции электрических машин?

2. Что называют старением изоляции и как оно влияет на электрические и механические свойства изоляции?

3. Какие классы нагревостойкости изоляции вы знаете?

4. Что такое гигроскопичность изоляции и почему ее стараются уменьшить?

5. Какие классы нагревостойкости имеет изоляция обмоточных проводов ПЭВ, ПЭТ-155, ПСД, ПСДК?

6. Какие способы наложения изоляции вы знаете?

7. Как работает и для чего применяется «механический обмотчик»?

8. Опишите конструкцию изоляции обмоток электрических машин, выполненную из круглого провода.

9. Из каких изоляционных материалов выполняют корпусную изоляцию обмоток машин с номинальным напряжением 3000 В и выше?

ГЛАВА III

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ИЗОБРАЖЕНИЕ СХЕМ ОБМОТОК

§ 9. ВИДЫ ОБМОТОК

Конструкция катушек обмотки, расположение их в машине и схеме соединения между собой зависят от назначения обмотки и типа машины. Катушки обмотки возбуждения состоят из большого числа витков. Они надеваются на стальные сердечники, вместе с которыми образуют полюсы машины. Такие катушки называют *полюсными.*

Обмотки статоров синхронных машин, статоров и фазных роторов асинхронных машин и якорей машин постоянного тока состоят из катушек с небольшим числом витков. Катушки равномерно распределяются по пазам сердечников, поэтому такие обмотки называют *распределенными.* В катушке распределенной обмотки статора машины переменного тока (рис. 15) различают прямолинейные (пазовые) части *3, 5,* которые при укладке обмотки в машину размещаются в пазах сердечника, криволинейные лобовые части *2, 4,* соединяющие ее пазовые части друг с другом, и выводные концы *1, 6,* которыми называют начало первого и конец последнего витка катушки. Места перегибов в

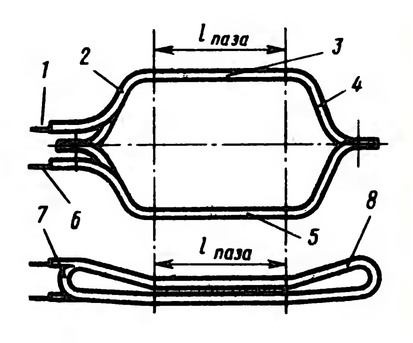


Рис. 15. Катушка распределенной обмотки статора

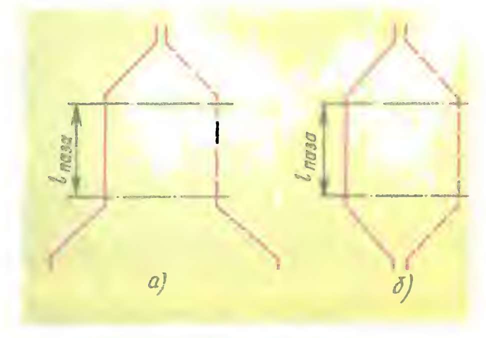


Рис. 16. Стержни обмотки: *а* — волновой, *б* — петлевой

лобовых частях *7, 8* называют головками катушек. Радиусы изгиба головок зависят от конструкции и размеров катушек и от напряжения машины. Длина прямолинейных частей катушек делается несколько большей, чем длина паза ($l_{паза}$), и после укладки катушек их прямолинейные части всегда выступают из пазов с обоих торцов сердечника.

В зависимости от типа обмотки в каждом пазу может располагаться или только одна пазовая сторона катушки, или две стороны разных катушек. В первом случае сторона катушки занимает весь паз (см. рис. 12, *а*). Такую обмотку называют *однослойной*. Во втором случае обмотка располагается в пазах в два слоя: в верхней части паза сторона одной катушки, в нижней — другой (см. рис. 12, *б*, 13, 14). Такая обмотка называется *двухслойной*.

Конструкция катушек обмотки, технология ее производства и способы укладки в пазы зависят от того, каким проводом они намотаны — круглым или прямоугольным. Катушки из круглого провода укладывают в полузакрытые пазы (см. рис. 12), имеющие узкую прорезь — шлиц, через которую при ручной укладке обмотки опускают в паз поочередно каждый проводник катушки. Проводники как бы «всыпают» в пазы, поэтому обмотку из мягких катушек, намотанных из круглого провода, называют *всыпной*. Катушкам всыпной обмотки до укладки в пазы не может быть придана окончательная форма. Их лобовые части изгибают и формуют уже после того, как обмотка уложена и закреплена в пазах.

Катушки из прямоугольного провода укладывают в пазы с параллельными стенками (см. рис. 13, 14). Жесткость прямоугольного провода больше, чем круглого, и катушкам уже в процессе изготовления до укладки в пазы придают окончательную форму со всеми характерными изгибами их лобовых частей (см. рис. 15).

Катушки распределенной обмотки могут состоять из одного, двух или нескольких витков. Одновитковые катушки в некоторых

типах обмоток делят пополам на два стержня (рис. 16). Каждый стержень состоит из одной пазовой и двух половин лобовых частей. Такая обмотка называется *стержневой.* Стержни обмотки соединяются между собой в головках после их установки в пазы и образуют витки обмотки. По направлению изгиба лобовых частей различают *волновую* (рис. 16, *а*) и *петлевую* (рис. 16, *б*) обмотки. Катушечные обмотки из прямоугольных проводов применяют в статорах машин средней и большой мощности, стержневые обмотки — в статорах крупных гидро- и турбогенераторов, роторах асинхронных двигателей и в якорях машин постоянного тока.

В электрических машинах применяют также неизолированную от корпуса обмотку — это обмотка короткозамкнутых роторов асинхронных двигателей и демпферная (успокоительная) обмотка синхронных машин.

Короткозамкнутые обмотки образуются из неизолированных стержней, расположенных в пазах, и колец, замыкающих эти стержни по обоим торцам сердечника. Короткозамкнутые обмотки могут быть выполнены из вставных стержней или литыми. В обмотке из вставных стержней их выступающие из пазов концы припаивают тугоплавким припоем к замыкающим кольцам. В литых короткозамкнутых обмотках и стержни и замыкающие кольца образуются одновременно заливкой роторов алюминием или его сплавами. В короткозамкнутых роторах асинхронных двигателей применяют и тот и другой тип обмотки. Успокоительную обмотку синхронных машин делают только из вставных стержней, которые размещают в пазах полюсных наконечников, и соединяют между собой по торцам полюсов замыкающими кольцами или сегментами.

§ 10. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ОБОЗНАЧЕНИЯ ОБМОТОК МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Распределенная обмотка электрической машины переменного тока состоит из нескольких самостоятельных частей, которые называются *фазами* обмотки. Число фаз обмотки в машине обозначают буквой m. Оно всегда равно числу фаз питающей сети.

Каждая фаза обмотки состоит из нескольких катушечных групп, в которые входят по нескольку катушек. Катушки, составляющие одну катушечную группу, соединяются между собой всегда последовательно и согласно, т. е. конец первой катушки соединяется с началом второй, конец второй — с началом третьей и т. д. Начало первой и конец последней катушки называют началом и концом катушечной группы.

Катушечные группы в фазе могут быть соединены между собой последовательно, параллельно или иметь смешанное, последовательно-параллельное соединение.

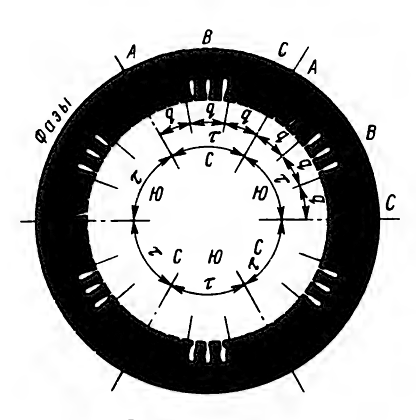


Рис. 17. Распределение пазов на полюсных делениях статора при $2p=6$

Машины, которые питаются от трехфазной сети, называют *трехфазными*. У них все три фазы обмотки одинаковы, т. е. намотаны одним и тем же проводом, имеют одинаковые числа витков и катушек. Соединение катушек и катушечных групп между собой и их расположение в пазах по окружности магнитопровода статора также одинаково. Чтобы правильно расположить катушки обмотки по пазам, окружность расточки статора условно разделяют на равные участки по числу полюсов машины (рис. 17). Длину каждого участка — длину дуги, образованную при разделении окружности, — называют *полюсным делением* и обозначают греческой буквой «τ». $\tau = \pi D/(2p)$, где D — внутренний диаметр статора, а $2p$ — число полюсов машины.

На одно полюсное деление приходится $Z/(2p)$ пазов. В симметричных обмотках пазы каждого полюсного деления распределяются поровну между фазами обмотки и на каждую фазу приходится $Z/(2pm)$ пазов. Это число называют *числом пазов на полюс и фазу* и обозначают буквой q: $q = Z/(2pm)$.

Катушки обмотки всегда располагаются одной своей стороной на одном, а другой — на соседнем полюсных делениях. Поэтому стороны катушек одной фазы, расположенные на каком-либо полюсном делении, занимают q пазов. Они всегда соединяются друг с другом последовательно и образуют одну катушечную группу. Таким образом, число катушек в катушечной группе обмотки всегда равно числу пазов на полюс и фазу, т. е. числу q. В трехфазных машинах число катушек в катушечной группе будет равно $Z/(6p)$.

Расстояние между сторонами катушки, уложенной в пазы, называется *шагом обмотки*. Он выражается не в единицах длины, а числом пазов, которые охватывает катушка, и обозначается буквой «y». Шаг обмотки показывает, через сколько пазов надо «шагнуть», чтобы от одной пазовой части катушки попасть к другой (рис. 18). Например, если $y = 7$ и одна сторона катушки лежит в первом пазу, то вторая должна находиться в восьмом пазу: $1 + 7 = 8$. Шаг обмотки может быть выражен только целым числом, так как пазовые части катушек должны обязательно располагаться в пазах. Шаг обмотки делают равным или близким полюсному делению. Если шаг равен полюсному делению, то его называют диаметральным. Обмотки с диаметральным шагом выполняют редко и лишь в машинах малой мощности. В машинах средней и большой мощности шаг обмотки

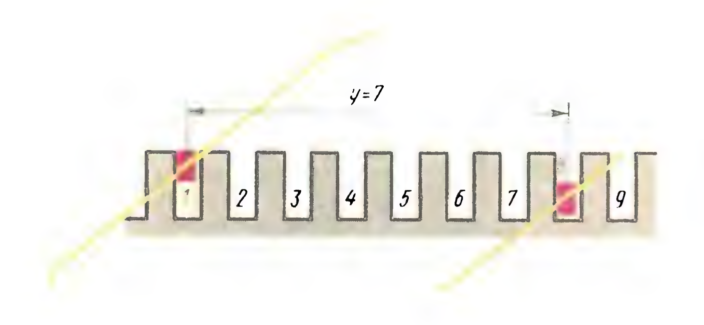


Рис. 18. Шаг обмотки по пазам

выполняют несколько меньшим, чем полюсное деление, т. е. его укорачивают. Это улучшает характеристики машины и несколько уменьшает длину лобовых частей катушек, а следовательно, и длину всей машины. Укороченный шаг $y = \beta\tau$, где β — коэффициент укорочения. В большинстве машин переменного тока $\beta \approx \approx 0{,}8$.

Обозначения выводных концов обмоток установлены ГОСТом в зависимости от назначения обмотки, ее расположения в машине и от числа ее концов, выведенных из машины для подсоединения к внешней сети. Обозначение состоит из буквы и цифры. Буква условно обозначает расположение обмотки в машине или ее назначение: С — обмотка статора асинхронной или синхронной машины, Р — обмотка фазного ротора асинхронной машины, И — обмотка возбуждения синхронной машины, В — вспомогательная обмотка двухфазных и однофазных асинхронных двигателей. Выводы обмотки — начало, конец и номер фазы — обозначают цифрой, как показано на рис. 19, *а*.

Число концов обмотки, выведенных к зажимам коробки выводов, может быть различным. В большинстве трехфазных машин выводятся все начала и все концы фаз, т. е. всего шесть выводных концов (табл. 2), но могут быть выведены только три или четыре конца. Остальные начала и концы фаз соединяются между собой внутри машины.

Обмотка каждой фазы рассчитывается на определенное напряжение, которое называют фазным напряжением машины. Оно должно быть равно одному из напряжений стандартного ряда, принятого в СССР и в большинстве стран мира. Такими напряжениями для низковольтных машин являются: 127*, 220, 380

* Двигатели на фазное напряжение 127 В в новых сериях не выпускают.

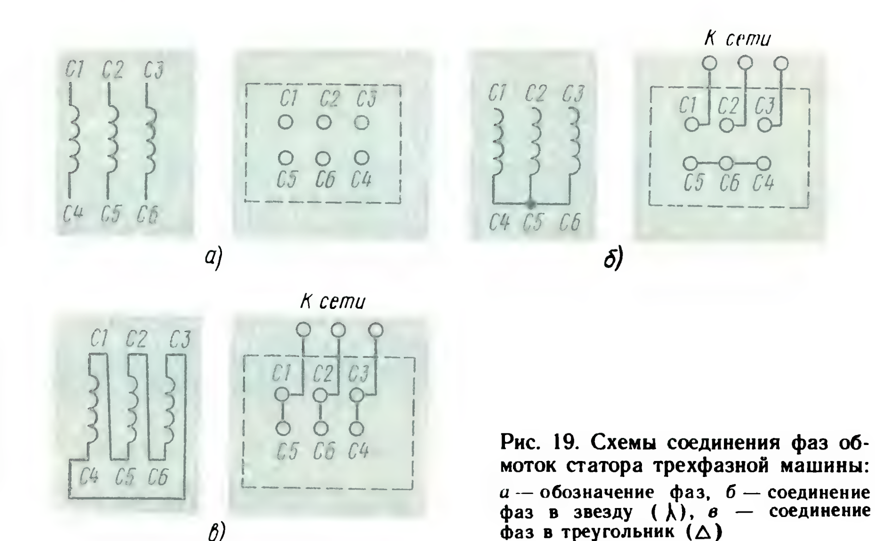


Рис. 19. Схемы соединения фаз обмоток статора трехфазной машины:
а — обозначение фаз, *б* — соединение фаз в звезду (⅄), *в* — соединение фаз в треугольник (△)

и 660 В. Как видно, каждое напряжение из этого ряда выше предыдущего в $\sqrt{3}$ раз.

Фазы обмотки трехфазной электрической машины можно соединить между собой в «*треугольник*» (условное обозначение Δ) или в «*звезду*» (условное обозначение ⅄). При соединении в треугольник (рис. 19,*в*) каждая из фаз подключается к полному напряжению сети. При соединении в звезду на каждую фазу приходится напряжение, в $\sqrt{3}$ раза меньшее, чем напряжение сети (рис. 19,*б*). Это позволяет использовать одну и ту же машину при двух различных напряжениях в питающей сети. Например, двигатель с фазным напряжением обмоток 220 В, соединив фазы в треугольник, можно подключить к сети с напряжением 220 В, а соединив в звезду — к сети 380 В. Поэтому номинальное напряжение трехфазных машин обозначается двумя цифрами: 220/380 или 380/660 В. По специальным заказам выпускают двигатели на напряжение 500 В. Такие машины могут работать только при одном напряжении, так как стандартного напряжения, в $\sqrt{3}$ раз отличающегося от 500 В, нет.

Если трехфазная машина рассчитана на работу только при одном напряжении, то соединение фаз производят внутри машины. В этом случае трехфазная обмотка имеет только три или четыре выводных конца (четвертый вывод — от «нулевой» точки — места соединения концов фаз С4, С5 и С6).

Высоковольтные двигатели выпускаются на напряжения 3000, 6000 и 10 000 В, напряжение высоковольтных генераторов — на 5% выше. Крупные гидрогенераторы и турбогенераторы выпускаются на напряжения 10,5; 13,8; 15,75; 18,0 кВ и выше. Такие машины предназначены для работы только при одном напряжении, в большинстве случаев при соединении схемы обмотки в звезду. Несмотря на это, все начала и концы фаз выводят-

Таблица 2. **Обозначения выводов обмоток трехфазных асинхронных и синхронных машин (ГОСТ 183—74)**

Вид обмотки	Схема соединений	Число выводов	Название выводов	Обозначение выводов			
				буквенное		цветовое	
				начало	конец	начало	конец
Обмотка статора	Открытая схема	6	Первая фаза Вторая » Третья »	C1 C2 C3	C4 C5 C6	Желтый Зеленый Красный	Желтый с черным Зеленый с черным Красный с черным
	Соединение звездой	3 или 4	Первая » Вторая » Третья » Нулевая точка	C1 C2 C3 0	— — — —	Желтый Зеленый Красный —	— — — Черный
	Соединение треугольником	3	Первый зажим Второй » Третий »	C1 C2 C3	— — —	Желтый Зеленый Красный	— — —
Обмотка фазного ротора асинхронной машины	Соединение звездой или треугольником	3 или 4	Первая фаза Вторая » Третья » Нулевая точка	P1 P2 P3 0	— — — —	— — — —	— — — —

Примечание. Цветовые обозначения допускается применять в малых машинах при отсутствии достаточного места для нанесения буквенных обозначений.

Таблица 3. **Обозначения выводов обмоток статора двух- и однофазных машин**

Число выводов	Названия выводов	Обозначения выводов			
		буквенное		цветовое	
		начало	конец	начало	конец
4	Главная обмотка	С1	С2	Красный	Красный с черным
	Вспомогательная обмотка	В1	В2	Синий	Синий с черным
3	Главная обмотка	С1	—	Красный	—
	Вспомогательная обмотка	В1	—	Синий	—
	Общая точка	0	—		Черный

Примечание. Цветовые обозначения допускается применять при отсутствии достаточного места для нанесения буквенных обозначений.

ся из машины для подключения аппаратуры, контролирующей работу генераторов.

В двух- и однофазных асинхронных и синхронных машинах большей частью выводятся начала и концы обеих фаз — главной и вспомогательной (табл. 3). В некоторых машинах эти фазы соединяются внутри машины и к коробке выводов подведены только три вывода: начала главной и вспомогательной фаз и вывод от общей точки — места соединений фаз внутри машины. Начала обмоток возбуждения синхронных машин обозначаются И1 и концы И2.

Обозначения во всех машинах наносятся непосредственно на выводы обмоток: на кабельные наконечники, шинные концы, специальные обжимы, плотно закрепленные на проводах, и, кроме того, на зажимы коробки выводов рядом с закрепленными выводами фаз. В малых машинах, в которых буквенные обозначения выводных концов затруднены из-за отсутствия места, допускается делать цветные выводы (см. табл. 3).

Соединения фаз обмоток роторов асинхронных двигателей производятся внутри машины, и обмотка имеет только три вывода: начала фаз Р1, Р2 и Р3. Вывод Р1 соединяется с наиболее удаленным от сердечника ротора контактным кольцом, а Р3 — с наиболее близким к сердечнику ротора контактным кольцом.

§ 11. СПОСОБЫ ИЗОБРАЖЕНИЯ СХЕМ ОБМОТОК

Схемой обмотки называется схематический чертеж, на котором показаны расположение катушек обмотки по пазам, соединения между катушками и между катушечными группами в фазе.

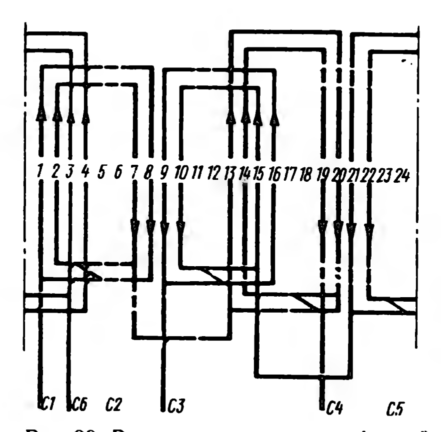


Рис. 20. Развернутая схема трехфазной однослойной концентрической обмотки с $Z=24$, $2p=4$

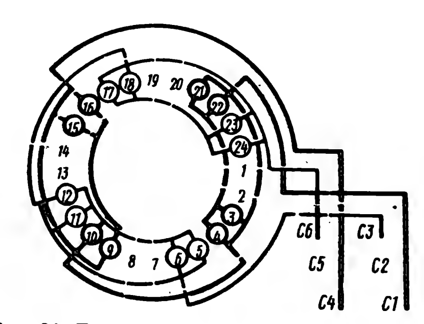


Рис. 21. Торцовая схема обмотки $m=3$, $z=24$, $2p=4$

При вычерчивании схем принято чертеж выполнять без соблюдения масштаба, катушки показывать условно независимо от числа витков в них замкнутыми прямоугольниками или пятиугольниками, нумерацию пазов начинать с произвольно выбранного паза. Соединения между катушечными группами показывают на схеме обычно немного отступив от изображения катушек, с тем чтобы они были ясно и четко видны.

Существует несколько способов изображения схем обмоток, из которых наибольшее распространение получили так называемые развернутые и торцовые схемы.

Развернутая схема представляет собой как бы развертку цилиндрической поверхности статора или ротора, на которой вертикальными прямыми линиями показаны пазы сердечника. На рис. 20 приведена развернутая схема однослойной обмотки трехфазной машины с $Z = 24$, $2p = 4$. Катушки каждой фазы показаны своим цветом (на черно-белых схемах катушки различных фаз обозначаются линиями различной толщины). Пазовые части катушек совпадают с изображением линий пазов. Лобовые части каждой катушки соединяют пазовые по шагу катушек. В обмотке, схема которой приведена на рис. 20, число пазов на полюс и фазу $q = z/(2pm) = 24/(4 \cdot 3) = 2$, поэтому каждая катушечная группа состоит из двух катушек, которые соединяются между собой последовательно. Соединения между катушечными группами показаны в нижней части схемы. Выводные концы обмотки — начала и концы каждой фазы обозначены согласно ГОСТ 183—74 буквами С1...С6. Соединение фаз обмотки между собой (в треугольник или в звезду) на схемах обычно не показывают, за исключением обмоток машин, предназначенных для работы при каком-либо одном напряжении.

В схемах двухслойных обмоток, которые рассматриваются в § 13, стороны катушек, лежащих в верхних слоях пазов, изображаются сплошными линиями, а лежащих в нижних слоях —

пунктирными, параллельными им. Характер линий (сплошные или пунктирные) сохраняется и при изображении лобовых частей до момента изгиба катушек в головках. Катушки двухслойных обмоток обычно изображаются пятиугольниками, соединения между ними — непосредственно у контуров катушек, а соединения между катушечными группами — внизу схемы, на некотором расстоянии от контуров катушек.

На развернутых схемах удобно показать шаг катушек и все междукатушечные соединения, но на краях чертежа приходится делать разрыв в соединениях и в контурах катушек обмотки, как и при вычерчивании развертки любой цилиндрической поверхности. Этого недостатка лишены торцовые схемы, представляющие собой как бы вид с торца на обмотанный статор или ротор (рис. 21).

На торцовых схемах разрывы соединений отсутствуют, но из-за отсутствия места трудно показать все лобовые части катушек и соединения между катушечными группами. Такие схемы, особенно торцовые схемы сложных многополюсных обмоток, имеющих несколько параллельных ветвей, читать трудно.

Существует также ряд других, менее распространенных способов изображения схем обмоток. Они все основаны на условном изображении только катушечных групп и соединений между ними. С такими способами изображения мы познакомимся при изучении конкретных схем одно- и двухслойных обмоток машин переменного тока в гл. IV.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие виды конструктивного исполнения обмоток вы знаете?

2. Чем отличаются двухслойные обмотки от однослойных?

3. Что называют полюсным делением в электрической машине?

4. Что называют шагом обмотки и в каких единицах его измеряют?

5. Чем отличается диаметральный шаг обмотки от укороченного?

6. Как должны быть соединены фазы обмотки асинхронного двигателя, если он рассчитан на 220/380 В, а напряжение питающей сети 220 В?

7. Можно ли асинхронный двигатель на напряжение 380/660 В, обмотки которого соединены в треугольник, включить в сеть с напряжением 660 В?

8. Как обозначаются начала и концы фаз трехфазной обмотки статора?

9. Какие способы изображения схем обмоток вы знаете?

10. Как принято изображать развернутые схемы обмоток?

ГЛАВА IV

СХЕМЫ ОБМОТОК СТАТОРОВ АСИНХРОННЫХ И СИНХРОННЫХ МАШИН

§ 12. СХЕМЫ ТРЕХФАЗНЫХ ОДНОСЛОЙНЫХ ОБМОТОК

Чтобы лучше разобраться и понять порядок соединения схем однослойных обмоток, проделаем некоторые предварительные построения для одной из простейших однослойных обмоток — обмотки статора асинхронной машины с числом пазов $Z = 24$; числом полюсов $2p = 4$ (см. рис. 20), соединенной последовательно (число параллельных ветвей $a = 1$). На рис. 22, *а* показаны 24 линии пазов, в середине каждой из них написан номер паза. Все пазы разделены на четыре части по числу полюсных делений машины ($2p = 4$). В каждой части, т. е. на каждом полюсном делении машины, находится по шесть пазов. При расчете обмоток длину полюсного деления машины удобнее выражать не в линейных размерах, а числом пазовых делений, имея в виду, что одно пазовое деление равно $t_z = \pi D/Z$ мм, где D — внутренний диаметр статора. В нашем случае полюсное деление $\tau = Z/2p = 24/4 = 6$ пазовым делениям. Так как обмотка симметрична, то на каждом полюсном делении должно располагаться равное число сторон катушек всех трех фаз, т. е. по два паза из шести должны быть заняты сторонами катушек каждой из фаз. Число пазов на полюс и фазу такой обмотки $q = Z/(2pm) + 24/(4 \cdot 3) = 2$ и число катушек, составляющих одну катушечную группу, равно 2.

На рисунке выделим линиями различного цвета пазы, в которых располагаются стороны катушек различных фаз (A, B, C), а на линиях пазов стрелками покажем направление мгновенных значений тока в каждой из сторон катушек. На первом полюсном делении оно может быть выбрано произвольно, но одинаково для всех фаз. Полярность полюсов на соседних полюсных делениях будет обратна первому, поэтому и направление мгновенных значений токов на них должно быть изменено на обратное во всех фазах. Таким образом, направления стрелок в пределах одного полюсного деления на всех пазовых линиях одинаковы и меняются на обратное при переходе к следующему полюсному делению.

Полученное распределение токов в пазовых частях катушек характерно для всех однослойных обмоток. Их можно по-разному соединить между собой в лобовых частях. От того или иного соединения зависит схема обмотки. Рассмотрим некоторые наиболее распространенные схемы однослойных обмоток.

Однослойная концентрическая обмотка. Соединив между собой попарно пазовые части катушек одной из фаз, как показано на рис. 22, *б*, получим две группы катушек, состоящих каждая

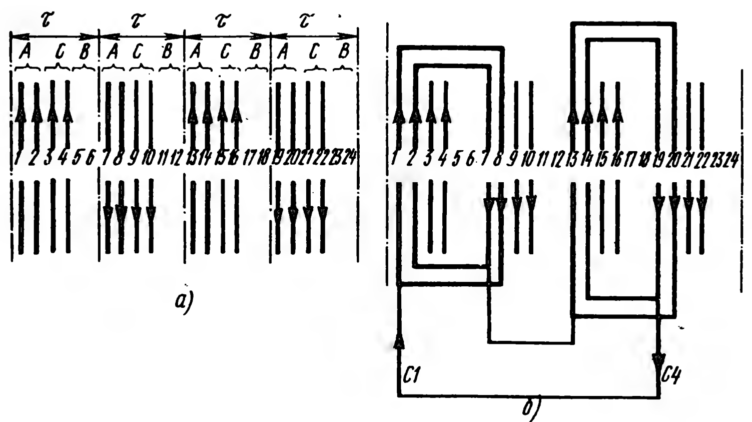


Рис. 22. Построение схемы однослойной концентрической обмотки трехфазной машины с $Z=24$, $2p=4$:

а — распределение пазов по фазам, *б* — соединение двух катушечных групп в фазе

из двух концентрических катушек: малой и симметрично охватывающей ее большой. Соединим между собой последовательно катушки в каждой группе и обе катушечные группы между собой. При таком соединении направления токов в пазовых сторонах катушек будут такими, как показано на рис. 22, *а*. Начало первой катушечной группы примем за начало фазы обмотки. По установленной ГОСТом системе выводы фазы должны быть обозначены *C1* — начало и *C4* — конец фазы. Таким образом, на рис. 22, *б* получили схему обмотки одной фазы с заданным числом пазов и полюсов. Другие две фазы обмотки соединяются точно так же. Полная схема однослойной концентрической обмотки с $Z=24$, $2p=4$, $m=3$, $a=1$ приведена на рис. 20.

Начала фаз в трехфазной обмотке должны быть расположены на таком расстоянии друг от друга, чтобы электрический угол между ними был равен углу между фазами трехфазной сети или кратен ему, т. е. равен 120 или $120 \cdot к$ эл. град, где *к* — любое целое число, не кратное трем. Так как электрический угол между соседними пазами статора равен $180 \cdot 2p/Z$, то угол $120° \cdot к$ между началами фаз обмотки образуется, если между ними будет $120кZ/(180 \cdot 2p) = 2qк$ пазов. В статорах для уменьшения длины соединений между началами фаз и коробкой выводов стремятся расположить выводы фаз как можно ближе один к другому. Ближайшее возможное расстояние между выводами фаз равно $2q$ пазам. Поэтому на схеме (см. рис. 20) начала фаз взяты в 1-м, 5-м $(1+4)$ и в 9-м $(5+4)$ пазах, так как $2q=4$.

На примере схемы рис. 20 рассмотрим основные характерные особенности однослойной концентрической обмотки, широко распространенной в современных электрических машинах.

Число катушечных групп в каждой фазе равно числу пар полюсов обмотки. В однослойной обмотке машины с $2p=2$ в

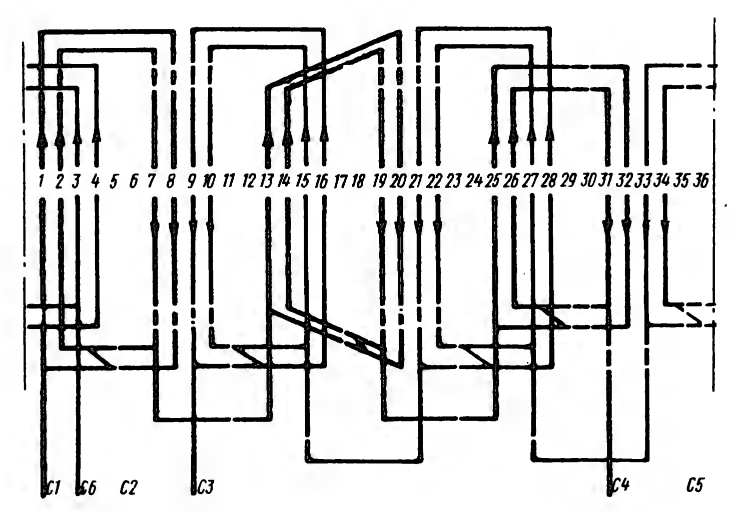


Рис. 23. Схема трехфазной однослойной концентрической обмотки с «кривой» катушечной группой с $Z=36$, $2р=6$, $m=3$

каждой фазе будет всего одна катушечная группа, если $2p=4$ — две, если $2p=6$, то три группы и т. д.

Катушечные группы соединяются между собой согласно, т. е. конец первой катушечной группы каждой из фаз соединяется с началом второй, конец второй — с началом третьей катушечной группы той же фазы и т. д.

Катушки, образующие каждую катушечную группу, имеют разную ширину (шаг), так как большая катушка охватывает меньшую. Длина прямолинейной части катушек, принадлежащих соседним катушечным группам, на схеме обмотки показана различной: малые и большие группы. Это делают для того, чтобы можно было показать лобовые части каждой катушки. На практике при укладке обмотки лобовые части всех катушек соединяют вместе в пучок. Поэтому длина прямолинейных частей всех катушек однослойной концентрической обмотки одинаковая.

При четном числе пар полюсов машины ($p=2, 4, 6$ и т. д.) в обмотке содержится одинаковое число больших и малых катушечных групп. При нечетном числе пар полюсов, кроме $p=1$, схема может быть составлена только при условии, что на ней одна катушечная группа будет показана состоящей из катушек с одной длинной и одной короткой сторонами. Такая катушечная группа называется «кривой» (рис. 23).

При q, равном четному числу, однослойную концентрическую обмотку можно выполнить по-другому, изменив направление отгиба лобовых частей половины катушек каждой катушечной группы, как показано на рис. 24. В этой обмотке $q=4$. Лобовые части одной половины катушек каждой катушечной группы отогнуты вправо, а другой половины — влево. Такая обмотка

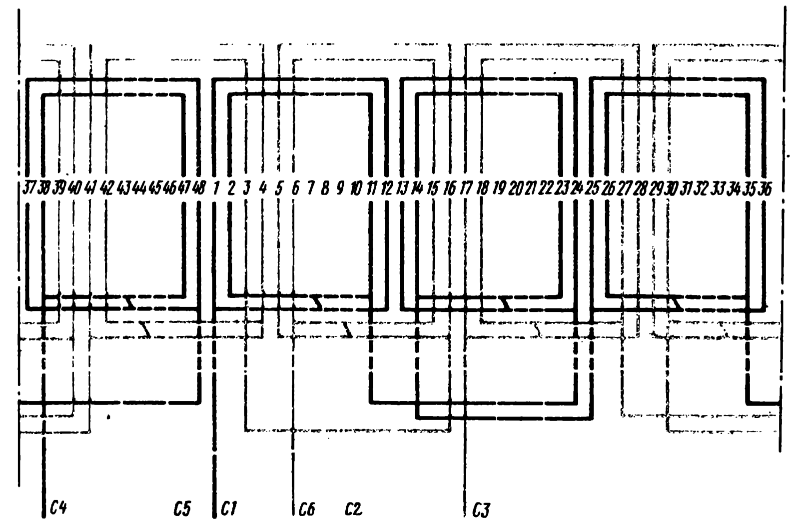


Рис. 24. Схема трехфазной однослойной концентрической обмотки с $Z=36$, $2p=4$, $m=3$, выполненной вразвалку

называется *концентрической обмоткой вразвалку*. На схеме лобовые части катушек обмотки, выполненной вразвалку, располагаются как бы в трех плоскостях, поэтому такую обмотку часто называют «трехплоскостной». При укладке обмотки в машину лобовые части всех катушек собираются так же, как и в обычной концентрической обмотке, в один пучок. Но при выполнении обмотки вразвалку толщина пучка получается меньше. В концентрической обмотке (см. рис. 20) в пучок входят лобовые части двух катушечных групп, т. е. $2q$ катушек (на рис. 20 — четырех катушек, так как $q=2$), а в концентрической обмотке вразвалку — лобовые части одной катушечной группы и только половины катушек другой (на рис. 24 $q=4$, а в пучок собирают лобовые части шести катушек). Это несколько уменьшает длину вылета лобовых частей обмотки и, следовательно, общую длину машины. Поэтому концентрическую обмотку вразвалку широко применяют в современных электрических машинах.

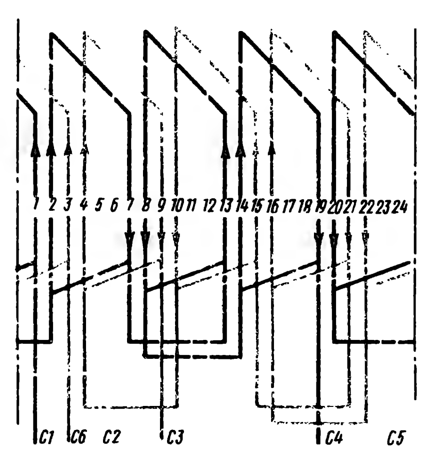


Рис. 25. Схема трехфазной равнокатушечной однослойной (цепной) обмотки с $Z=24$, $2p=4$

Однослойные обмотки могут быть выполнены не только концентрическими катушками. Определенное на рис. 22 направление токов в пазовых частях катушек может быть

получено и при ином, чем в концентрических обмотках, типе соединений в лобовых частях. При этом уменьшается число катушек, имеющих разные размеры. Такой обмоткой является, например, *равнокатушечная* или, как ее часто называют, — *цепная* обмотка.

Все катушки однослойной цепной обмотки (рис. 25) имеют одинаковые размеры. Поэтому их изготовление проще, чем катушек концентрической обмотки, однако укладка катушек цепной обмотки в пазы сложнее. Это объясняется необходимостью изгибать лобовые части каждой катушки после укладки ее в пазы для того, чтобы освободить место для лобовых частей следующих за ней катушек. В электрическом отношении обе обмотки — концентрическая и равнокатушечная — равноценны, но из-за более сложной укладки в пазы цепные обмотки в новых машинах не применяются. Их можно встретить лишь при ремонте машин старых выпусков.

§ 13. СХЕМЫ ТРЕХФАЗНЫХ ДВУХСЛОЙНЫХ ОБМОТОК

Двухслойные обмотки могут быть катушечными или стержневыми. Катушечные двухслойные обмотки применяются в статорах большинства машин переменного тока мощностью более 12—15 кВт, стержневые двухслойные обмотки — в статорах машин большой мощности, например в турбогенераторах и гидрогенераторах, и в фазных роторах асинхронных двигателей. Основным достоинством двухслойных обмоток, которое определяет их широкое распространение, является возможность выполнить их с укороченным шагом, что улучшает характеристику машины.

В двухслойной обмотке в каждом пазу размещаются по две стороны разных катушек, поэтому общее число катушек в ней равно числу пазов Z, а число катушек в одной фазе — Z/m. Так как число катушек в катушечной группе равно числу пазов на полюс и фазу $q = Z/(2pm)$, то в двухслойных обмотках число катушечных групп в каждой фазе равно числу полюсов обмотки $2p$.

Рассмотрим принцип построения схемы двухслойной катушечной обмотки на примере обмотки статора трехфазной машины с $Z = 24$, $2p = 4$, $a = 1$, т. е. с теми же данными, что и у приведенных в § 12 однослойных обмоток.

В каждом пазу двухслойной обмотки размещаются две стороны разных катушек, поэтому на рис. 26, *а* показаны 24 пары линий пазов. Одна линия из каждой пары — сплошная — обозначает сторону катушки, лежащей вверху паза, ближе к его шлицу, а другая — пунктирная — сторону катушки, лежащей на дне паза. Разделим пазы по числу полюсов на четыре полюсных деления τ, в каждом из них будет $\tau = Z/(2p) = 24/4 = 6$ пазов, и в пределах полюсных делений разметим фазы. Число пазов на полюс и фазу $q = Z/(2pm) = 24/(4 \cdot 3) = 2$. Стрелками на

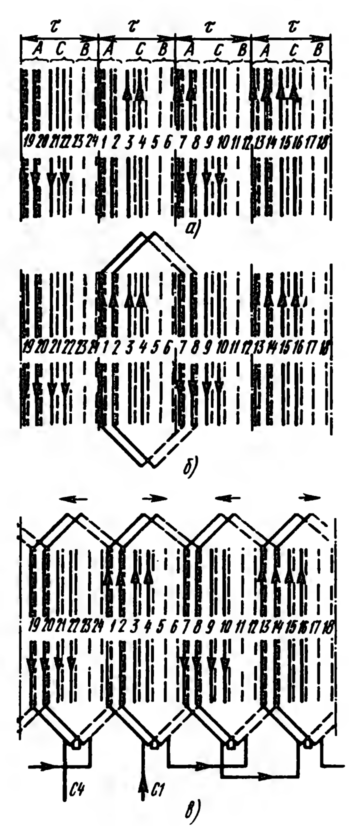


Рис. 26. Построение схемы двухслойной обмотки:

а — разделение пазов по полюсным делениям, *б* — соединение катушек, *в* — соединение катушечных групп одной фазы обмотки

сплошных линиях, соответствующих верхним сторонам катушек, покажем направления мгновенных значений токов в них. Оно одинаковое во всех фазах в пределах одного полюсного деления и меняется на обратное при переходе к соседнему полюсному делению. Направление токов в нижних сторонах катушек, т. е. на пунктирных линиях, показывать не надо, так как оно будет зависеть от укорочения шага и при составлении схемы роли не играет.

Вначале рассмотрим обмотку с диаметральным шагом. На рис. 26, *б* показано соединение лобовыми частями пазовых сторон катушек, лежащих на расстоянии полюсного деления друг от друга, т. е. с шагом $y = \tau = 6$: верхние стороны катушек 1-го и 2-го пазов соединяются соответственно с нижними сторонами катушек $(1 + 6) = 7$-го и $(2 + 6) = 8$-го пазов. Полученные две катушки ($q = 2$) соединены последовательно между собой в катушечную группу. На рис. 26, *в* такие же соединения проделаны для остальных катушек, входящих в одну фазу обмотки, и катушечные группы соединены между собой. Чтобы принятые ранее направления токов (см. рис. 26, *а*) сохранились, соседние катушечные группы одной фазы должны быть соединены между собой встречно. Встречное соединение катушечных групп, т. е. соединение конца первой группы этой фазы с концом второй и начала второй группы с началом третьей и такое же соединение других групп одной фазы, является характерной закономерностью для всех схем двухслойных обмоток.

Обмотка остальных фаз соединяется аналогично. На рис. 27 приведена полная схема рассмотренной обмотки. Начала фаз *C1*, *C2* и *C3*, так же как и в однослойных обмотках (см. § 12), расположены через $2q = 2 \cdot 2 = 4$ паза друг от друга.

Для проверки правильности выполненных соединений при вычерчивании схемы можно воспользоваться следующим методом. На линиях, обозначающих начала фаз *C1*, *C2* и *C3*, отметим стрелками мгновенные направления токов в фазах. В трехфазной системе токов всегда в двух фазах эти направления совпа-

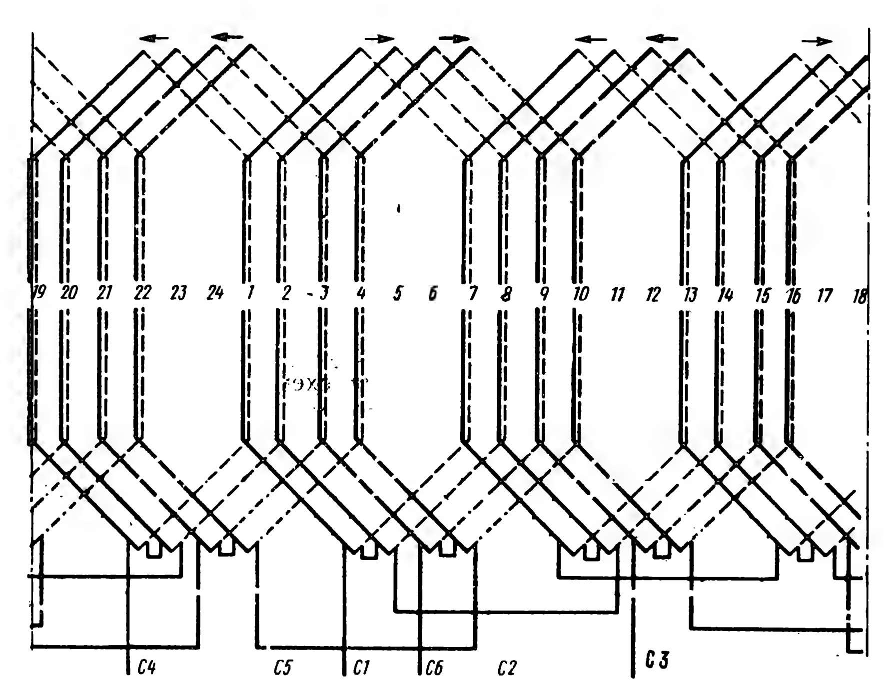


Рис. 27. Схема двухслойной трехфазной обмотки с $Z=24$, $2p=4$ и диаметральным шагом

дают, а в третьей будет противоположно, или значение тока равно нулю. Поэтому на рис. 27 на выводе *С3* указано направление, противоположное *С1* и *С2*. Далее, обходя катушки и катушечные группы по вычерченным соединениям каждой из фаз, отметим над катушечными группами также стрелками направление обтекания их током. Проделаем эту операцию для всех фаз, как показано на рис. 27. В пределах каждого полюсного деления направления стрелок над катушечными группами во всех фазах совпадают и меняются на обратное над соседними полюсными делениями. Таких изменений направления столько, сколько полюсов в машине. Если после разметки стрелок на схеме не получается такого чередования, то схема вычерчена неверно. В этом случае следует проверить правильность расположения начал каждой из фаз и соединений между катушечными группами и исправить неточность. Машина с неправильно соединенной обмоткой работать не будет.

Двухслойные обмотки с диаметральными шагами применяют очень редко, так как характеристика машин с такими обмотками хуже, чем с обмотками, имеющими укороченные шаги. Поэтому двухслойные обмотки в большинстве случаев делают с шагами меньшими, чем полюсное деление машины. При любом укорочении шага и при любом числе $2p$ и q принцип соединения схем обмоток остается таким же, как рассмотренный для обмотки с диаметральным шагом. На рис. 28 приведена схема обмотки

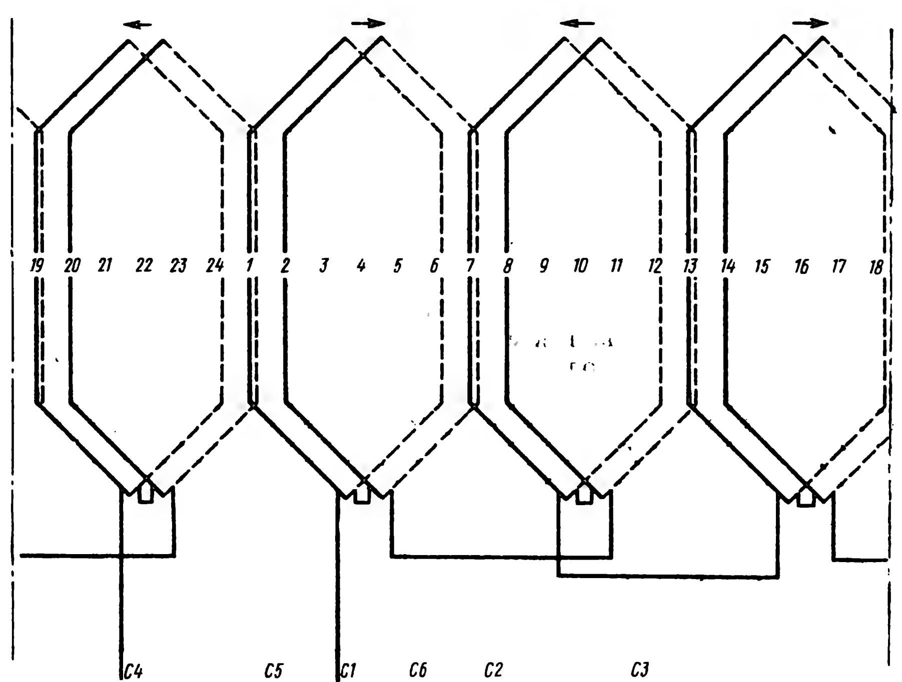


Рис. 28. Схема двухслойной трехфазной обмотки с $Z = 24$, $2p = 4$ и укороченным шагом

той же машины ($Z = 24$, $2p = 4$, $m = 3$, $a = 1$), но с укороченным шагом $y = \beta\tau = 0{,}8 \cdot 6 \approx 5$. Сравнивая обе схемы (см. рис. 27 и 28), видим, что все соединения катушек и катушечных групп у них одинаковы. Обмотки отличаются друг от друга только шириной катушек и расположением их сторон, лежащих в нижней части паза (пунктирные линии на схеме). При диаметральной обмотке в каждом из пазов расположены верхние и нижние стороны катушек одной и той же фазы. В обмотке с укороченным шагом из-за того, что ширина катушек уменьшилась, в некоторых пазах размещаются стороны катушек, принадлежащих разным фазам, например (см. рис. 28) в пазах *2, 4, 6, 8* и др.

Схема-развертка удобна для практического использования при соединении обмотки, но при большом числе пазов и нескольких параллельных ветвях она теряет это качество, так как становится громоздкой и трудно читается из-за большого количества различных показанных на ней соединений. В то же время, внимательно рассматривая развернутую схему, можно заметить, что она содержит ряд одинаковых элементов. Поэтому часто используют так называемые условные схемы. В них принято условное изображение не одной катушки, как в схеме-развертке, а целой катушечной группы, которая обозначается одним прямоугольником независимо от числа катушек в ней (рис. 29). От каждого прямоугольника отходят две линии, обо-

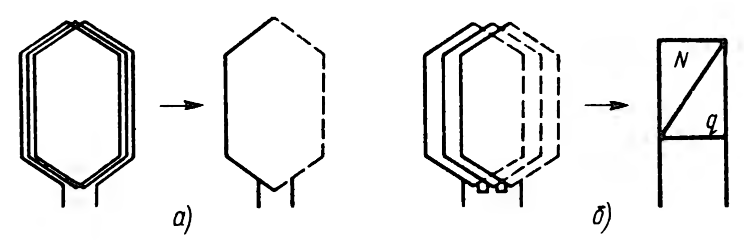


Рис. 29. Условные изображения на схемах:
а — витков в катушке, *б* — катушек в катушечной группе

значающие два выводных конца: начало первой катушки в группе и конец последней. Такое условное изображение основано на том, что все витки в одной катушке, так же как и все катушки в одной катушечной группе, соединяются всегда последовательно. Чтобы указать, какое место занимает катушечная группа от начала обмотки и сколько катушек она содержит, в прямоугольнике над диагональю пишут номер катушечной группы, считая их по порядку от начала первой фазы обмотки, а под диагональю указывают число катушек в этой катушечной группе. Условная схема обмотки, развернутая схема которой показана на рис. 28, изображена на рис. 30. Проследим на ней направление обтекания током катушечных групп всех фаз и отметим эти направления стрелками. Чередование стрелок (сравнить с рис. 28) показывает, что схема соединена правильно.

Как видно, в условной схеме содержится меньше информации, чем в схеме-развертке, так как в ней не указано число пазов и нельзя определить, какой шаг принят в обмотке: условная схема, изображенная на рис. 30, соответствует обмотке и с диаметральным шагом, и с укороченным (см. рис. 27 и 28). Поэтому условные схемы сопровождаются надписями о числе пазов, шаге обмотки, числе полюсов и др.

Все фазы обмотки в трехфазных машинах всегда соединяются одинаково, поэтому условные схемы можно еще более сократить. Достаточно привести схему соединений катушечных групп только одной фазы и сделать соответствующие надписи, как показано на рис. 31. На этом рисунке приведены только катушечные группы первой фазы — 1, 4, 7 и 10-я, отмечены

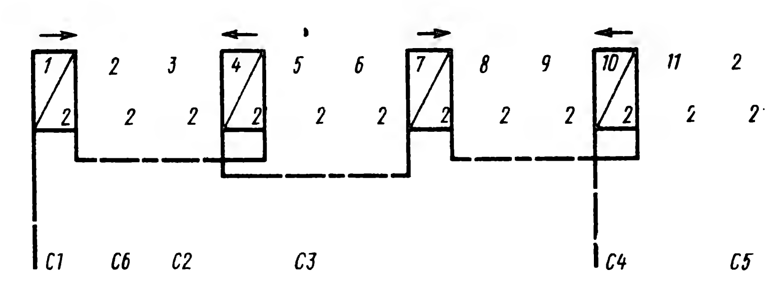


Рис. 30. Условная схема обмотки с $Z=24$, $2p=4$, $a=1$

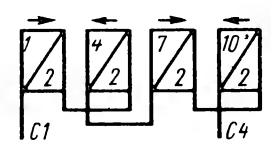


Схема фазы А. Фазы В и С соединяются аналогично

Рис. 31. Условная схема одной фазы обмотки с $2p=4$, $a=1$

стрелками направления обтекания током катушечных групп и показаны межгрупповые соединения. Катушечные группы других фаз на схеме не показаны, но, зная, что все фазы соединяются одинаково, можно совершенно точно сказать, как должна быть соединена вся уложенная в пазы обмотка. За начало второй фазы (см. рис. 30) должно быть взято начало 3-й $(1+2)$ катушечной группы, с ней будут соединены 6-я $(4+2)$, 9-я $(7+2)$, 12-я $(10+2)$ катушечные группы. Начало третьей фазы будет началом 5-й $(3+2)$ катушечной группы. В нее войдут 5, 8, 11 и 2-я катушечные группы. Концами фаз будут являться концы 10, 12 и 2-й катушечных групп. Если в условной схеме обмотки не указывать значения числа q, то она может служить как бы типовой схемой для всех двухслойных обмоток с данным числом $2p$ и числом параллельных ветвей a независимо от числа пазов в машине.

§ 14. СОЕДИНЕНИЕ ОБМОТОК В НЕСКОЛЬКО ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЕТВЕЙ

Соединение обмотки в две или несколько параллельных ветвей на условной схеме выполняют следующим образом. Чертят столько прямоугольников, изображающих катушечные группы, сколько полюсов в машине — это катушечные группы одной фазы. Начальный вывод первого прямоугольника принимают за начало фазы и над каждым прямоугольником отмечают стрелками направление обтекания током катушечных групп: стрелки меняют направление над каждым прямоугольником. Выводные концы прямоугольников соединяют так, чтобы образовалось нужное число параллельных ветвей и в каждой из них было одинаковое число прямоугольников — катушечных групп обмотки. Направление тока от начала фазы в каждой из ветвей должно совпадать с направлением стрелок. Для двухполюсных машин $(2p=2)$ при $a=1$ такое соединение показано на рис. 32, *а*, а при $a=2$ — на рис. 32, *б*. В этой обмотке при $a=2$ в каждой параллельной ветви содержится по одной катушечной группе, направление обтекания током катушечных групп совпадает с принятым направлением стрелок. Соединение обмотки машины с $2p=2$ в две параллельные ветви возможно только таким способом.

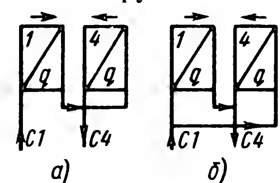


Рис. 32. Соединение катушечных групп в фазе обмотки с $2p=2$:
а — при $a=1$, *б* — при $a=2$

Обмотку четырехполюсной машины можно соединить в две или в четыре параллельные ветви (рис. 33, *а*, *б*). И в том, и в другом случае направление обтекания током катушечных групп сохранено таким же, как и в схеме с $a=1$ (см. рис. 28 и

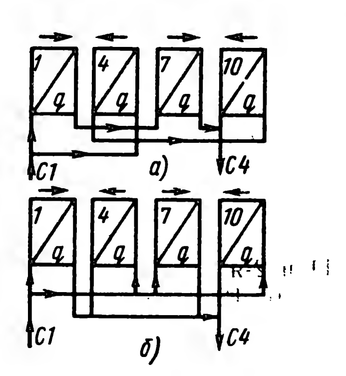


Рис. 33. Соединение катушечных групп в фазе обмотки с $2p=4$:
а — при $a=1$, *б* — при $a=2$

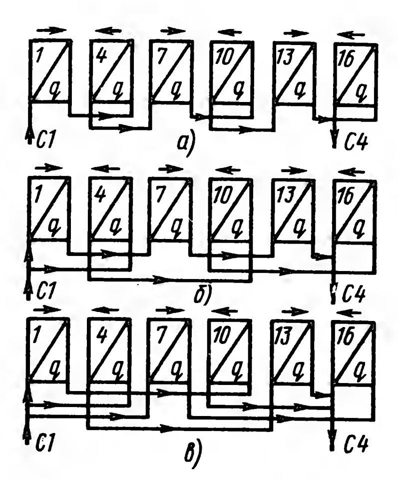


Рис. 34. Соединение катушечных групп в фазе обмотки с $2p=6$:
а — при $a=1$, *б* — при $a=2$, *в* — при $a=3$

31), и в каждую параллельную ветвь включено одинаковое количество катушечных групп.

Обмотку, в каждой фазе которой шесть катушечных групп, т. е. обмотку шестиполюсной машины, можно соединить в две, три или в шесть параллельных ветвей (рис. 34). Принцип соединений остается постоянным и для других двухслойных обмоток независимо от числа полюсов и числа параллельных ветвей в них.

Из рассмотренных примеров видно, что число параллельных ветвей в двухслойной обмотке всегда кратно числу полюсов машины. Возможное число параллельных ветвей можно определить из условия $2p/a =$ целому числу. Наибольшее возможное число параллельных ветвей $a_{max} = 2p$. В практике редко применяют обмотку с числом параллельных ветвей большим, чем 4 или 6, так как при этом более вероятно неравномерное распределение токов между ними и перегрузка отдельных участков обмотки из-за возможного некоторого неравенства сопротивлений ветвей.

§ 15. ОБМОТКИ С ДРОБНЫМ ЧИСЛОМ ПАЗОВ НА ПОЛЮС И ФАЗУ

В многополюсных машинах часто выбирают такие соотношения чисел пазов Z и чисел полюсов $2p$, что $q = Z/(2pm)$ выражается неправильной дробью. Так, например, крупные многополюсные синхронные генераторы для улучшения их характеристик в большинстве случаев выполняются с дробным числом пазов на полюс и фазу. В некоторых асинхронных машинах число q также выражается неправильной дробью со знаменателем, равным 2, т. е. $q = 1^1/_2$, $2^1/_2$, $3^1/_2$ и т. д. Так приходится

поступать, например, при использовании одного штампа листов статора с $Z=90$ для двигателей с $2p=10$ и $2p=12$. В десятиполюсной машине $q=Z/(2pm)=90/(10\cdot3)=3$, т. е. целому числу, а в двенадцатиполюсной $q=90/(12\cdot3)=2^1/_2$ — дробному числу.

Обмотки с дробным числом q могут быть соединены в электрически симметричные схемы. Для этого их катушечные группы формируют не из одинакового числа катушек, равного q, как в обмотках с целым числов пазов на полюс и фазу, а из разного; причем в одной части катушечных групп число катушек в группе берут на одну больше, чем в другой. Число малых катушечных групп и число больших катушечных групп подбирают таким образом, чтобы в среднем на одну группу приходилось число катушек, равное выбранному дробному числу q.

Катушечные группы укладывают в пазы в определенной последовательности. Так, например, при $q=2^1/_2$ надо поочередно укладывать одну большую катушечную группу из трех катушек и одну малую, состоящую из двух катушек. Чередование больших и малых катушечных групп повторяется с определенным периодом. В данном случае (при $q=2^1/_2$) период чередования равен двум катушечным группам. Последовательность чередования больших и малых катушечных групп в периоде записывается рядом периодически повторяющихся цифр. Число цифр в периоде показывает, сколько катушечных групп в нем содержится, каждая цифра — число катушек в очередной катушечной группе, а общая сумма цифр — число всех катушек в одном периоде чередования. Для обмотки с $q=2^1/_2$ таким рядом будет |3 2|3 2|3 2|... Эта запись означает, что в каждом периоде содержится две катушечные группы (две цифры). Первая группа состоит из трех, вторая — из двух катушек. Всего катушек в периоде $3+2=5$.

Дробное число q для составления схем записывают в общем виде так: $q=b+c/d=N/d$, где b — целая часть числа q; c — числитель; d — знаменатель дробной части числа q; $N=bd+c$ — числитель неправильной дроби, которой можно записать число q.

Во всех обмотках с дробным q всегда соблюдается следующая закономерность. Количество катушек в малых катушечных группах равно b; количество катушек в больших катушечных группах на единицу больше, т. е. $(b+1)$. В каждом периоде содержится d катушечных групп, из которых c больших и $(d-c)$ малых. Всего катушек в периоде N.

Для рассмотренного примера $q=2^1/_2=2+{}^1/_2={}^5/_2$. Количество катушек в малых группах $b=2$, в больших группах — $b+1=2+1=3$; катушечных групп в периоде $d=2$, из них больших $c=1$ и малых $d-c=2-1=1$; всего катушек в периоде $N=5$.

Распределение пазов, в которые должны быть уложены верхние стороны катушек обмотки с $q=2^1/_2$ по фазам, показаны на

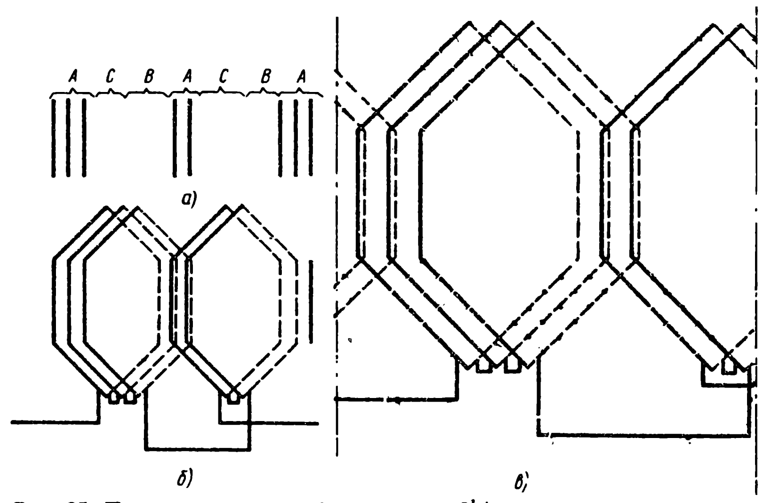


Рис. 35. Построение схемы обмотки с $q = 2^1/_2$:

а — распределение пазов по полюсным делениям, *б* — соединение катушечных групп одной фазы, *в* — элемент схемы обмотки

рис. 35, *а*. На рис. 35, *б* приведено соединение катушечных групп одной фазы, а на рис. 35, *в* показан элемент схемы обмотки с $q = 2^1/_2$. Как видно на схеме, большие и малые катушечные группы чередуются при обходе обмотки по пазам в последовательности |32|32|32|...

Симметричную схему обмотки можно построить не при всяком дробном числе q. Во-первых, стремятся избегать дробных чисел q со знаменателем, равным или кратным трем, так как в трехфазных машинах такая обмотка не будет вполне симметричной. Во-вторых, по условиям симметрии в каждой фазе должно содержаться целое число периодов чередования больших и малых катушечных групп, в каждой фазе двухслойной обмотки — $2p$ катушечных групп, а в периоде чередования — d катушечных групп. Следовательно, условием симметрии является $2p/d =$ целому числу. При этом в каждой фазе будет равное число катушек и одинаковое число периодов.

Параллельные ветви в обмотках с дробным q могут быть образованы только из катушечных групп, составляющих целое число периодов чередования, так как иначе в них будет разное число катушек.

При составлении схем обмоток, в которых дробная часть числа q равна $1/d$ или $(d-1)/d$, последовательность чередования больших и малых катушечных групп безразлична; например, для обмоток с $q = 1^1/_2$ можно чередовать катушечные группы в последовательности либо |2 1|2 1|... либо |1 2|1 2|... Для обмоток с $q = 2^3/_4$ может быть принято чередование |2 3 3 3| |2 3 3 3|.., или |3 2 3 3|3 2 3 3|.., или любое другое, образованное перестановкой этих цифр в пределах периодов. Эти чередования

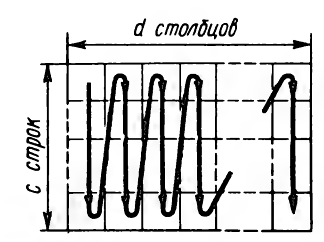


Рис. 36. Последовательность заполнения таблицы для определения чередования катушечных групп в обмотке с дробным q

отличаются друг от друга только выбором начальной катушки первой фазы и полностью равноценны.

В других случаях, когда $1 < c < (d-1)$, например, в обмотках с $q = 1^2/_5$ или $q = 2^3/_8$ и т. п., удовлетворяющую условиям симметрии обмотки, последовательность чередования находят различными способами. Наиболее простой из них заключается в следующем. По значениям $q = b + c/d$ составляют таблицу, имеющую c строк и d столбцов (рис. 36). В клетки таблицы вписывают числа катушек в катушечных группах. Заполнение таблицы начинают с верхней левой клетки и заполняют первый столбец, вписывая в него числа катушек в больших катушечных группах, т. е. $(b + 1)$. Таких катушек в периоде чередования всегда будет c, и они заполняют весь первый столбец. Далее начинают заполнять второй столбец таблицы также с верхней клетки, вписывая в него числа катушек в малых катушечных группах — числа b столько раз, сколько малых катушечных групп содержится в периоде чередования, т. е. $(d-c)$ раз. Далее продолжают заполнение таблицы последовательно по вертикальным столбцам, как показано стрелками на рис. 36, пока она вся не будет заполнена. Нужное чередование читают по строкам заполненной таблицы.

Для пояснения метода составим таблицу чередования катушечных групп в обмотке с $Z = 114$, $2p = 16$, $q = 2^3/_8 = 2 + {}^3/_8 = {}^{19}/_8$. В этой обмотке $b = 2$; $c = 3$; $d = 8$. Составляем таблицу из $c = 3$ строк и $d = 8$ столбцов (табл. 4). Вначале заполняем первый столбец, вписывая в него числа катушек в больших катушечных группах. Они равны $b + 1 = 2 + 1 = 3$. Цифрами 3 заполняется первый столбец, так как число больших катушек в периоде $c = 3$. Начиная с верхней клетки второго столбца, вписываем числа катушек в малых катушечных группах, равные $b = 2$ столько раз, сколько малых катушечных групп в периоде, т. е. $d-c = 8-3 = 5$. Потом, продолжая заполнение, записываем последовательно снова три раза цифру 3 и пять раз цифру 2 и т. д., пока вся таблица не окажется заполненной. По любой из строк таблицы читаем нужное чередование больших и малых

Таблица 4. **Чередование катушечных групп в обмотке с $q = 2^3/_8$**

3	2	2	3	2	2	3	2
3	2	2	3	2	3	2	2
3	2	3	2	2	3	2	2

Таблица 5. **Чередование катушечных групп в обмотке с дробными числами** q

Число q	Последовательность чередования катушечных групп	Расположение по пазам начал фаз
$1^1/_4$	|1112|1112|1112|...	1, 5, 9
$1^1/_2$	|21|21|21|21|...	1, 3, 5
$1^3/_4$	|1222|1222|1222|...	1, 5, 9
$1^1/_5$	|11112|11112|11112|...	1, 11, 21
$1^2/_5$	|21211|21211|21211|...	1, 11, 21
$1^3/_5$	|21212|21212|21212|...	1, 11, 21
$1^3/_8$	|21121121|21121121|21121121|...	1, 9, 17
$1^5/_8$	|21212212|21212212|21212212|...	1, 9, 17

катушечных групп, например, по первой строке |322·32232| |32232232|. Как видно, каждый период содержит $d = 8$ катушечных групп и $N = 19$ катушек. Чередование в других строках таблицы такое же, разница только в начале отсчета.

Для определения чередования больших и малых катушечных групп и расположения начал фаз в обмотках с часто встречающимися дробными числами q можно воспользоваться данными табл. 5. Если целая часть дробного q, для которого нужно определить чередование катушек и положение начал фаз, больше 1, то все цифры во втором столбце таблицы (порядок чередования катушечных групп) надо увеличить на разность между этим числом и единицей. Номера катушечных групп, в которых располагаются начала фаз (третий столбец таблицы), не изменяются. Например, данные для обмотки с $q = 2^3/_4$ смотрим по третьей строке таблицы ($q = 1^3/_4$): порядок чередования катушечных групп |2 3 3 3|2 3 3 3|..; начала фаз расположены в первых катушках 1, 5 и 9-й катушечных групп.

16. СХЕМЫ ОБМОТОК МНОГОСКОРОСТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Во многих механизмах требуется изменять скорость в процессе работы. Чаще всего для привода таких механизмов используют двигатели постоянного тока, но в ряде случаев применяют также и асинхронные двигатели, как более дешевые и надежные.

Частоту вращения асинхронного двигателя можно определить по формуле $n = n_1(1-s) = (60f/p)(1-s)$. Из этой формулы следует, что частоту вращения асинхронного двигателя можно регулировать, изменяя частоту питающего тока f, скольжение s или число пар полюсов двигателя p. На практике применяют все три способа регулирования. Изменение частоты тока возможно с помощью статических преобразователей частоты. Скольжение меняют путем включения активного сопротивления в цепь фазного ротора. Число полюсов обмотки можно изменить в двигателях, имеющих обмотки, соединенные в специальные схемы. Такие дви-

гатели называют многоскоростными, а их обмотки — полюсно-переключаемыми.

Переключение чисел обмотки асинхронного двигателя — простой и распространенный метод регулирования, так как не требуется дополнительного оборудования и в то же время обеспечивается работа двигателя с достаточно высокими энергетическими показателями на разных частотах вращения. Он широко применяется на практике, несмотря на то что частота вращения этим методом изменяется только ступенями. Частота вращения поля в машине $n_1 = 60f/p$. При токе промышленной частоты $f = 50$ Гц она равна 3000 об/мин при $2p = 2$, 1500 об/мин при $2p = 4$, 1000 об/мин при $2p = 6$ и т. д.

Частота вращения двигателя при переключении ее обмотки на разные числа полюсов меняется в таком же соотношении. Изменения числа полюсов статора можно достичь двумя способами: установкой в пазы статора двух независимых обмоток, выполненных на разные числа полюсов, или переключением схемы соединения катушечных групп одной обмотки.

Первый способ дает возможность получить любые соотношения между числами полюсов и, следовательно, между частотами вращения двигателя. Недостатком такого способа регулирования является неполное использование объема пазов статора, так как в пазы укладываются обе обмотки, а двигатель работает только на одной из них. Вторая обмотка в это время отключена и занятая ею часть объема пазов не используется. Это вызывает необходимость увеличения размеров пазов и всего двигателя по сравнению с односкоростным той же мощности.

Второй способ изменения числа полюсов основан на изменении направлений магнитных потоков в машине путем переключения схемы обмотки. На рис. 37, *а* на поперечном сечении машины с $2p = 2$ условно показано положение двух катушечных групп (*1* и *4*), принадлежащих одной фазе в двухполюсной обмотке. Стрелками отмечено направление магнитных силовых линий потока машины. На схеме соединения катушечных групп этой фазы также стрелками отмечено направление обтекания их током. Причем направление стрелки над катушечной группой вправо (1-я катушечная группа) соответствует направлению силовых линий потока от центра, а влево (4-я катушечная группа) — к центру. При таком соединении катушечных групп обмотка образует два полюса. На рис. 37, *б* такое же построение проделано для четырехполюсной машины, одной фазе обмотки которой принадлежат 1, 4, 7 и 10-я катушечные группы. При встречном включении четырех катушечных групп, т. е. при принятой в обычных двухслойных обмотках схеме, обмотка образует четыре полюса: два одной и два другой полярности. Такую же картину поля можно получить и при двух катушках в одной фазе обмотки, если их включить не встречно, а согласно, как показано на рис. 37, *в*. Сравнив между собой направления потоков и схемы обмоток, видим, что изменение направления тока в одной катушечной

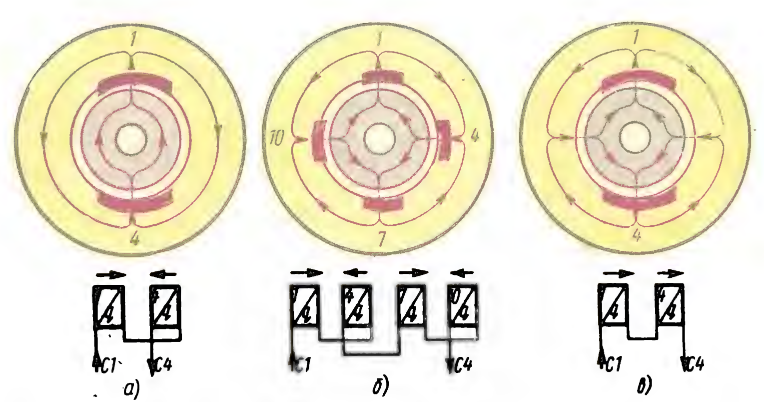


Рис. 37. Направления потоков в магнитопроводе и условные схемы обмотки одной фазы машины:

а — с двумя катушечными группами при $2p=2$, *б* — с четырьмя катушечными группами при $2p=4$, *в* — с двумя катушечными группами при $2p=4$

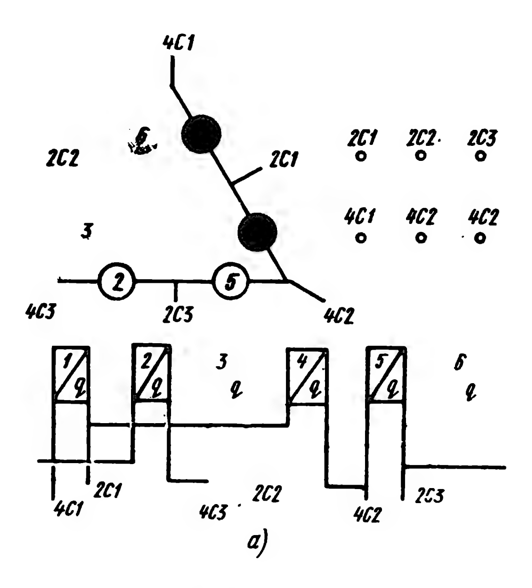
группе фазы двухполюсной обмотки приводит к увеличению числа полюсов с двух до четырех, т. е. в два раза. Если таким же образом изменить схему соединений двух (4-ю и 10-ю или 1-ю и 7-ю) катушечных групп четырехполюсной машины, то распределение потока будет такое же, как в машине с $2p = 8$. Таким образом, изменение направления включения половины катушечных групп в схеме двухслойной обмотки приводит к увеличению числа полюсов машины в два раза.

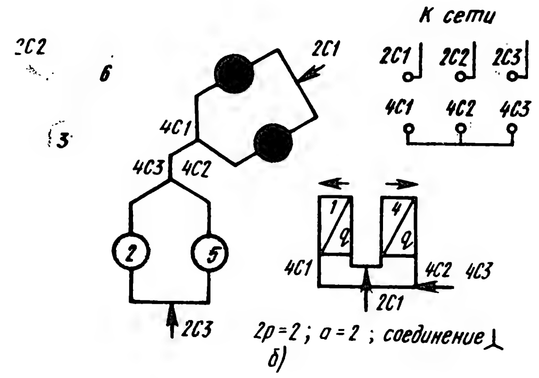
Этот принцип используется во всех двухскоростных асинхронных двигателях с отношением чисел полюсов 1 : 2, например в двигателях с переключением чисел полюсов с $2p = 2$ на $2p = 4$ или с $2p = 4$ на $2p = 8$.

В коробке выводов многоскоростных двигателей шесть зажимов, к которым подсоединены выводные концы обмоток (рис. 38, *а*). Они обозначаются так же, как и выводные концы обычных обмоток (см. табл. 2), но перед обозначением ставится число, указывающее, сколько полюсов будет иметь обмотка, если эти выводы подключить к сети. Для работы двухскоростного двигателя на $2p = 2/4$ с числом полюсов $2p = 2$ с сетью соединяются выводы *2C1, 2C2* и *2C3* (рис. 38, *б*); выводы *4C1, 4C2* и *4C3* соединены между собой накоротко. Обмотка при этом соединяется в звезду с двумя параллельными ветвями. Если с сетью соединены выводы *4C1, 4C2* и *4C3*, а выводы *2C1, 2C2* и *2C3* разомкнуты (рис. 38, *в*), то обмотка образует четыре полюса и соединяется в треугольник при $a = 1$.

Аналогичные схемы включения имеют двухскоростные двигатели и на другие числа полюсов ($2p = 4/8$, $6/12$ и т. п.). Схемы соединений — звезда или треугольник — и числа параллельных ветвей каждой из схем определяются требованиями к соотношениям мощностей двигателей при различных частотах вращения.

В статор трехскоростного двигателя укладывают две раздель-





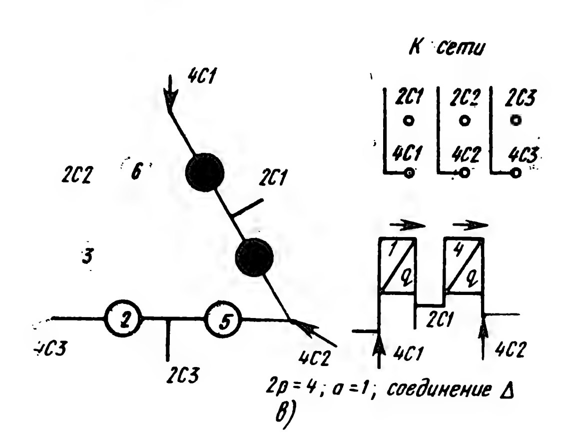


Рис. 38. Схема включения обмоток на $2p=2/4$:

а — соединения внутри машины, *б* — включение обмотки на $2p=2$ при $a=2$, *в* — включение обмотки на $2p=4$ при $a=1$

ные обмотки: одна обычная, а другая полюснопереключаемая, например в двигателе на $2p = 4/6/8$ обычная обмотка имеет 6 полюсов, а полюснопереключаемая — $2p = 4/8$.

В четырехскоростном двигателе также две самостоятельные обмотки, обе полюснопереключаемые, например, в двигателе на $2p = 4/6/8/12$ одна обмотка может быть включена на 4 или 8 полюсов, а вторая — на 6 или 12.

В новых сериях асинхронных двигателей применяют более сложные схемы полюснопереключаемых обмоток, которые позволяют изменять числа полюсов и в отношениях, отличных от 1 : 2. В серии 4А выпускаются, например, двигатели с одной полюснопереключаемой обмоткой на $2p = 4/6$ или на $2p = 6/8$ полюсов и т. д. Количество выводных концов и их обозначения остаются такими же, как и в ранее рассмотренных схемах.

§ 17. ОСОБЕННОСТИ СХЕМ ОБМОТОК ОДНО- И ДВУХФАЗНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Однофазные асинхронные двигатели мощностью до 1, редко до 2 кВт, широко применяют в условиях, когда имеется только однофазная сеть, например, для привода механизмов различных приборов, электрифицированного инструмента, в бытовых механизмах и т. п. Если обмотку двигателя питать однофазным током, то электромагнитное поле в нем будет не вращающимся, как в трехфазных машинах, а пульсирующим, энергетические показатели будут хуже, чем у трехфазных, а пусковой момент будет равен нулю, т. е. двигатель без специальных устройств не сможет начать работать. Поэтому в статорах однофазных двигателей устанавливают две обмотки, которые часто называют также фазами обмотки. Одна из них — главная, или рабочая, другая — вспомогательная. Обмотки располагаются по пазам статора так, что их оси сдвинуты друг относительно друга в пространстве на

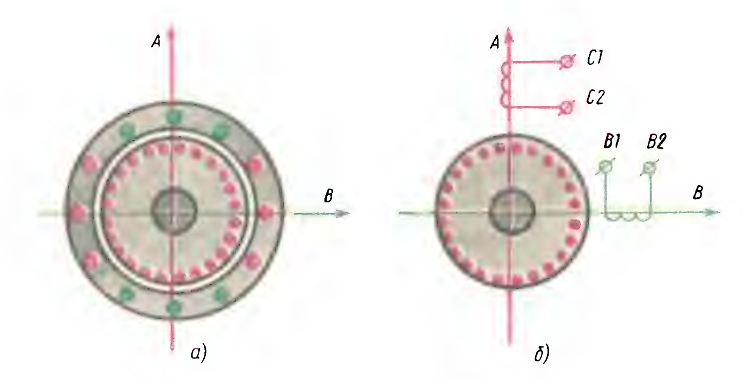
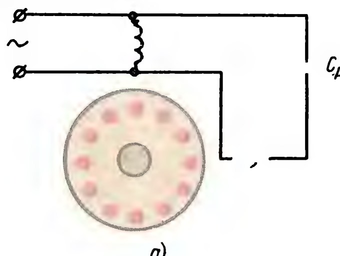
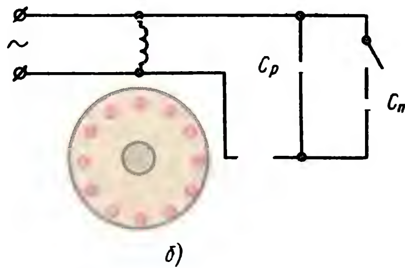


Рис. 39. Оси обмоток двух- и однофазных двигателей:
а — расположение катушек разных фаз в пазах статора, *б* — условное изображение фаз обмотки

электрический угол 90° (рис. 39). Если фазы токов обмоток будут не одинаковы, т. е. сдвинуты во времени, то электромагнитное поле в двигателе становится вращающимся. Энергетические показатели двигателя улучшаются и появляется пусковой момент. При сдвиге фаз токов на электрический угол 90° и одинаковых мдс обмоток поле становится круговым и кпд однофазного двигателя будет наибольшим. Добиться этого можно, выполнив обе обмотки двигателя одинаковыми и подключив последовательно к одной из них конденсатор (рис. 40, *а*). Такие двигателями называются однофазными конденсаторными.

Емкость конденсатора, необходимая для получения кругового поля, зависит от активных и индуктивных сопротивлений обмоток двигателя и от его нагрузки. Для однофазных конденсаторных двигателей конденсатор рассчитывают так, чтобы поле было круговым при номинальной нагрузке. Его включают последовательно с одной из фаз обмоток на все время работы. Этот конденсатор называют рабочим и обозначают $C_р$. Во время пуска двигателя емкость рабочего конденсатора оказывается недостаточной для образования кругового поля и пусковой момент двигателя невелик. Для увеличения пускового момента параллельно с рабочим конденсатором включают второй — пусковой конденсатор ($C_п$). Суммарная емкость рабочего и пускового конденсаторов обеспечивает получение кругового вращающегося поля во время пуска двигателя и пусковой момент его увеличивается. После разгона двигателя пусковой конденсатор отключают, а рабочий остается включенным (рис. 40, *б*). Таким образом, двигатель запускается и работает с номинальной нагрузкой при вращающемся круговом поле.





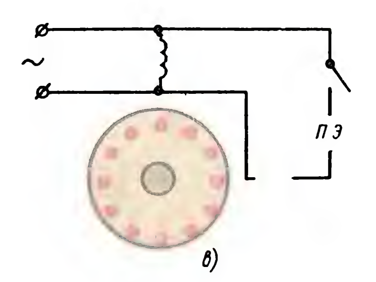


Рис. 40. Схемы включения однофазных двигателей:

а — с постоянно включенным конденсатором (конденсаторные двигатели), *б* — с рабочим и пусковым конденсаторами, *в* — с пусковым элементом; $C_р$ — рабочий конденсатор, $C_п$ — пусковой конденсатор; *ПЭ* — пусковой элемент

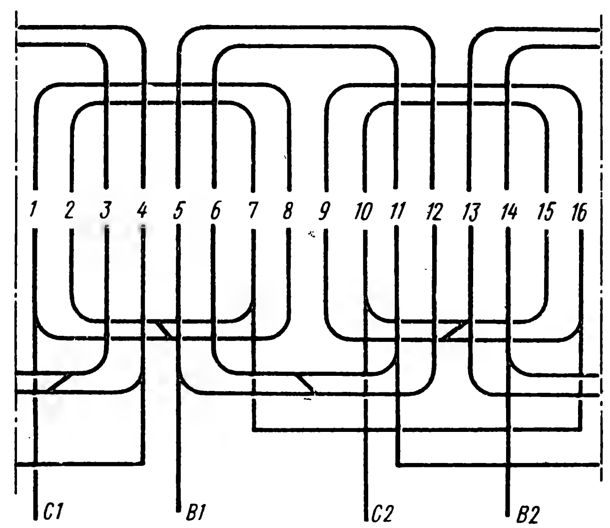


Рис. 41. Схема однослойной концентрической обмотки с $m=2$, $Z=16$, $2p=2$, выполненной вразвалку

В однофазных конденсаторных двигателях обе обмотки, и главная и вспомогательная, выполняются одинаковыми, т. е. с одинаковым числом витков и катушек, из одинакового обмоточного провода. Они располагаются в одинаковом числе пазов, симметрично со сдвигом осей на 90°.

В статорах большинства одно- и двухфазных двигателей применяют всыпные однослойные обмотки с концентрическими катушками (рис. 41). Они имеют либо четыре выводных конца — начала и концы главной и вспомогательной фаз, либо только три. При трех выводах концы главной и вспомогательной фаз соединяются между собой внутри корпуса и наружу выводится провод от места их соединения — общая точка обмотки. Обозначение выводов обмоток приведено в табл. 3.

Для уменьшения вылета лобовых частей катушек однослойные обмотки часто выполняют вразвалку. Если число пазов на полюс и фазу четное, то обмотки вразвалку по существу не отличаются от таких же обмоток трехфазных машин (см. рис. 24). Если же число q нечетное, то большие катушки в группах делают «расчесанными», т. е. отгибают лобовые части половины их витков в одну, а второй половины — в другую сторону (рис. 42).

Необходимость установки конденсаторов удорожает однофазные двигатели, увеличивает их габариты и снижает надежность, так как конденсаторы выходят из строя чаще, чем сами двигатели. Поэтому большинство однофазных асинхронных двигателей рассчитывают на работу только с одной — главной обмоткой. Однако для того, чтобы их можно было пустить, устанавливают и вторую — вспомогательную обмотку, которую часто называют пусковой. Она предназначается только для создания вращающе-

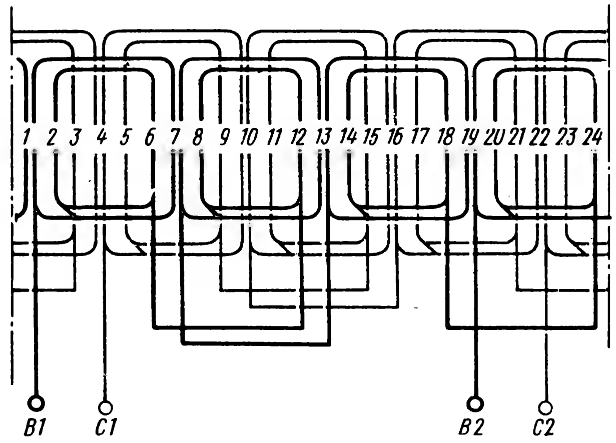


Рис. 42. Схема однослойной концентрической обмотки с $m=2$, $Z=24$, $2p=4$, $q=3$, выполненной с «расчесанными» катушками

гося поля при пуске двигателя. Такие однофазные двигатели называют двигателями с пусковой фазой.

Сдвиг фаз токов главной (рабочей) и пусковой обмоток достигается изменением сопротивления пусковой обмотки путем включения последовательно с ней так называемого пускового элемента (см. рис. 40, *в*) — конденсатора или резистора (чаще всего используют более дешевый — резистор).

Пусковые обмотки, как правило, отличаются от рабочих и по числу витков, и по числу катушек, и сечением провода. Они обычно занимают $^1/_3$ всех пазов статора. В оставшихся $^2/_3$ пазов располагается рабочая обмотка. Схемы соединений и числа полюсов рабочей и пусковой обмоток одинаковы (рис. 43).

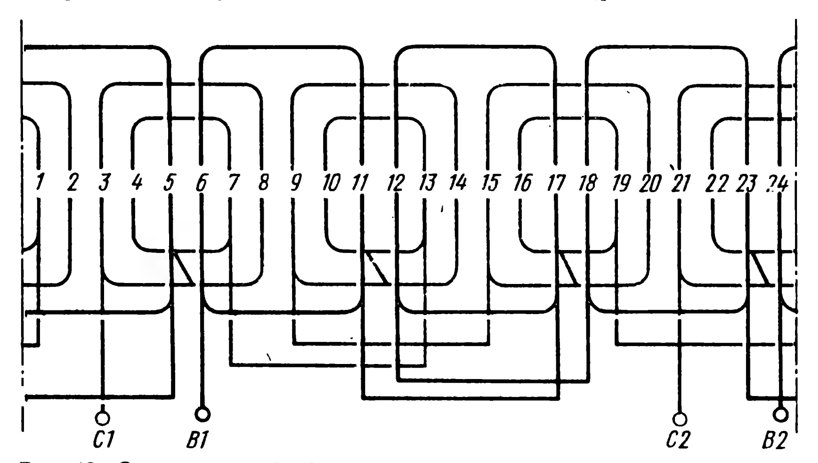
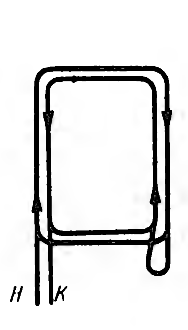


Рис. 43. Схема однослойной концентрической обмотки однофазного двигателя с пусковой фазой с $Z=24$, $2p=4$; $C1$—$C2$ — главная фаза, $B1$—$B2$ — пусковая фаза



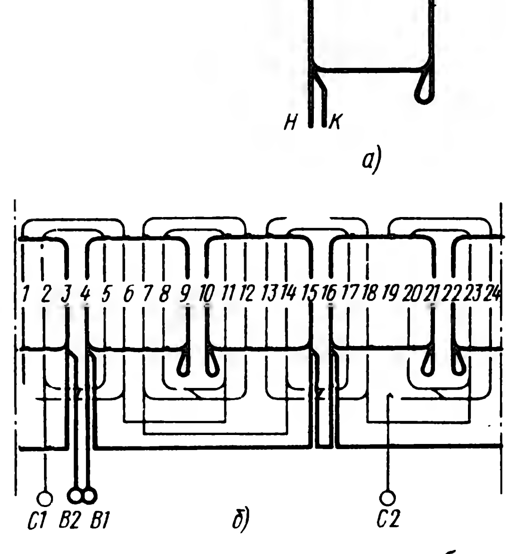


Рис. 44. Образование бифилярных витков

Рис. 45. Схема обмотки с катушками, имеющими бифилярные витки:

а — изображение катушек с бифилярными витками на схеме обмотки, *б* — схема обмотки с $Z=24$, $2p=4$

Чтобы избежать установки резисторов, которые должны быть рассчитаны на полный пусковой ток, во многих однофазных двигателях пусковую обмотку выполняют с повышенным сопротивлением пусковой фазы. Для этой цели пусковую обмотку наматывают из провода меньшего сечения, чем рабочую, или выполняют ее с частично бифилярной намоткой. При этом длина провода обмотки возрастает, ее активное сопротивление увеличивается, а индуктивное сопротивление и мдс остаются такими же, как и без бифилярных витков. Чтобы образовались бифилярные витки, катушку пусковой обмотки выполняют из двух секций со встречным направлением намотки (рис. 44). Одна секция, направление намотки которой совпадает с нужной для пуска машины полярностью, называется основной, а секция со встречной намоткой — бифилярной. Бифилярная секция имеет всегда меньше витков, чем основная. На схемах обмоток катушки, имеющие частично бифилярную намотку, обозначают петлей (рис. 45, *а*). На рис. 45, *б* показана схема обмотки с пусковой фазой, имеющей частично бифилярную намотку. Главная обмотка выполнена концентрическими катушками вразвалку. Петли у катушек пусковой фазы на схеме обозначают, что они выполнены с частично бифилярной намоткой.

Пусковая обмотка однофазных двигателей рассчитана только на кратковременную работу — на время пуска двигателя. Ее необходимо отключить от сети сразу же, как только двигатель разгонится, иначе она перегреется и двигатель выйдет из строя. Такие двигатели применяются, например, для привода компрес-

соров во всех бытовых холодильниках. Тепловое реле холодильника включает обе обмотки двигателя, а после его разгона отключает пусковую обмотку. Двигатель работает с одной включенной рабочей обмоткой.

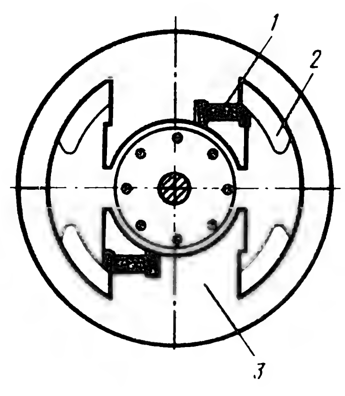


Рис. 46. Короткозамкнутый виток на полюсе асинхронного однофазного двигателя:
1 — короткозамкнутый виток, 2 обмотка, 3 — сердечник

В небольших, мощностью до нескольких десятков ватт однофазных асинхронных двигателях вращающееся поле и в период пуска и во время работы получают более простым способом. Двигатель делают с явнополюсным статором. Часть площади полюсного наконечника охватывают короткозамкнутым витком (рис. 46), в котором индуктируется эдс и возникает ток. Под влиянием тока в витке поток полюса раздваивается и фаза потока под частью полюсного наконечника, охваченной короткозамкнутым витком, сдвигается по сравнению с основным потоком. В результате поле становится вращающимся, однако не круговым, так как нельзя таким образом достичь сдвига фаз на 90°, а эллиптическим, но достаточным для возникновения небольшого пускового момента. Такие двигатели называют однофазными с экранированными полюсами или с короткозамкнутыми витками на полюсе. Они широко применяются, например, в различных бытовых вентиляторах, так как пуск вентиляторов происходит с малым моментом сопротивления на валу. Основным достоинством двигателей с экранированными полюсами является простота их конструкции и технологии изготовления.

В отличие от однофазных двухфазные двигатели питаются от двухфазной сети. Они используются в основном в различных системах управления, в которых сдвиг фаз питающей сети создается самой схемой. Их статор имеет также две обмотки, одна из которых носит название обмотки возбуждения, а вторая — обмотки управления. Обмотка возбуждения подключена к сети с неизменным по амплитуде напряжением. Регулирование частоты вращения двигателей осуществляется изменением амплитуды тока обмотки управления или его фазы. Иногда применяется и тот и другой метод управления одновременно. При равенстве токов и сдвиге их фаз на 90° поле двигателя круговое. При изменении тока обмотки управления или его фазы поле становится эллиптическим, электромагнитный момент двигателя и частота его вращения уменьшаются.

Двигатели рассчитывают так, что при пульсирующем поле они работать не могут. Поэтому при уменьшении сдвига фаз токов в обмотках до нуля или снятия напряжения с обмотки управления

двигатели останавливаются. Как только фаза тока в обмотке управления изменится или подано напряжение при постоянном сдвиге фаз, двигатели начинают работать. Обмотки двухфазных двигателей в большинстве случаев одинаковые и симметрично расположены в пазах статора.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какую обмотку называют однослойной концентрической?

2. В чем состоит особенность концентрических обмоток вразвалку?

3. Чем отличаются равнокатушечные однослойные обмотки от концентрических?

4. Как изображается катушечная группа двухслойной обмотки на условной схеме?

5. Во сколько параллельных ветвей можно соединить двух- и однослойную обмотки шестиполюсной машины?

6. Чем отличается обмотка с дробным числом пазов на полюс и фазу от обмотки с целым q?

7. Какие двигатели называют многоскоростными и в чем особенность их обмоток?

8. Как называются обмотки двухфазных двигателей?

9. Какие двигатели называют однофазными конденсаторными?

10. Какие схемы применяют для пуска однофазных асинхронных двигателей?

ГЛАВА V

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И УКЛАДКИ ОБМОТОК СТАТОРОВ ИЗ КРУГЛОГО ПРОВОДА

§ 18. НАМОТКА КАТУШЕК ИЗ КРУГЛОГО ПРОВОДА

Обмотки из круглого провода применяются в статорах наиболее распространенных электрических машин — низковольтных асинхронных двигателей мощностью до 100 кВт, а также в статорах синхронных машин той же мощности и напряжения. Выпуск таких машин в нашей стране превышает 10—11 млн. шт/г. В то же время укладка их обмоток вручную — трудоемкий процесс, связанный с необходимостью пропускать каждый проводник через узкий шлиц паза (см. рис. 12). Поэтому вопросу механизации намотки обмоток из круглого провода уделяется очень серьезное внимание. Механизировать, т. е. почти полностью исключить ручной труд при изготовлении и

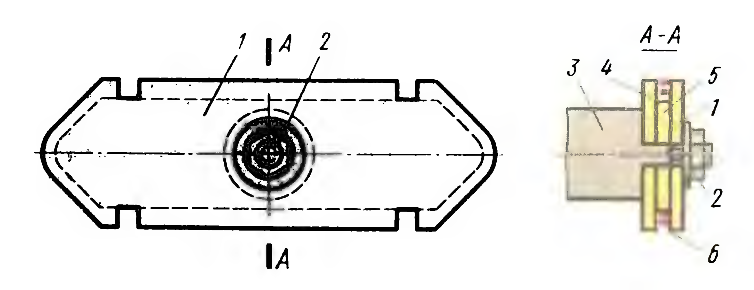


Рис. 47. Простейший намоточный шаблон

укладке обмоток удается только на заводах с массовым выпуском однотипных электрических машин. Станки для механизированной намотки имеют сложную конструкцию, рассчитаны для определенных типоразмеров машин и требуют длительной переналадки при переходе к намотке обмоток машин других размеров и с другими обмоточными данными. Производительность таких станков очень велика и их невыгодно устанавливать, если завод выпускает электрические машины различных типоразмеров и каждый из них в относительно небольших количествах. В таких случаях и, как правило, при ремонтных работах укладка обмоток выполняется вручную. Однако намотка катушек из круглого провода механизирована практически на всех предприятиях.

Намотка катушек для ручной укладки производится на шаблоны, установленные на намоточные станки. Рассмотрим принцип намотки катушки на простейшем шаблоне (рис. 47). Шаблон состоит из основания *5* и боковых планок: задней *4*, соединенной с основанием шаблона, и съемной передней *1*. Шаблон собирается на шпинделе *3* намоточного станка и закрепляется гайкой *2*, которая плотно прижимает боковую планку к основанию шаблона. В собранном шаблоне боковые планки и основание образуют желоб, в который наматываются проводники *6* катушки. Размеры шаблона делают такими, чтобы средняя длина намотанного на него витка провода была равна средней длине витка уложенной в пазы катушки, ширина желоба — примерно ширине паза, а длина прямолинейной части основания — длине прямолинейной части катушки, т. е. больше длины сердечника статора машины на 15—20 мм. Натяжение обмоточного провода во время намотки должно быть строго определенным, так как при слабом натяжении проводники будут располагаться в шаблоне неровно, а при слишком сильном натяжении провод растянется, его изоляция потрескается и потеряет электрическую прочность. Для создания нужного натяжения применяют устройства, состоящие из системы роликов, между которыми пропускают провод. Натяжение провода регулируется подтормаживанием роликов.

Перед началом намотки в прорези шаблона устанавливают отрезки ленты для закрепления намотанных витков. На приводном механизме смонтировано устройство для подсчета оборотов

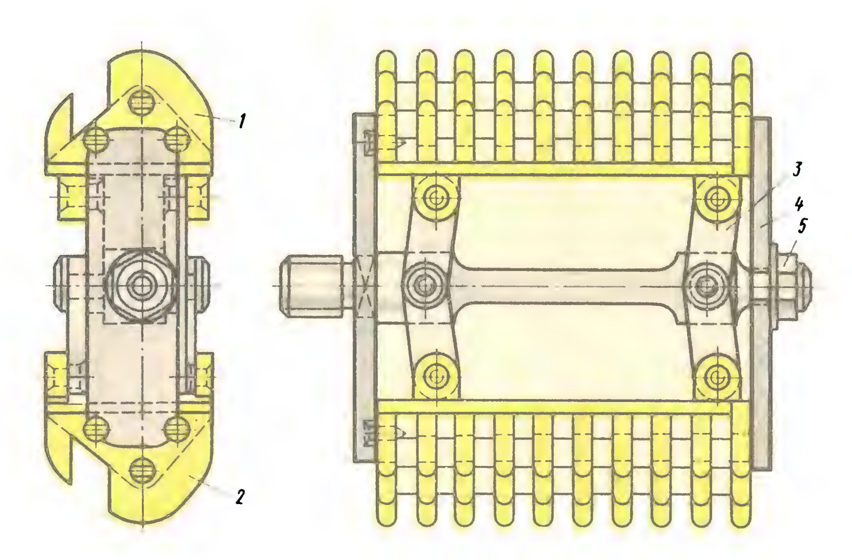


Рис. 48. Шарнирный намоточный шаблон

шпинделя, которое останавливает станок после намотки заданного числа витков. При намотке обмотчик должен следить, чтобы провод ложился в желоб шаблона ровно, правильными рядами, без перекрещиваний. Так же он будет лежать и в пазах машины.

После окончания намотки провод отрезают, намотанные витки скрепляют лентой, отсоединяют переднюю боковую планку шаблона и заготовку катушки снимают. Чтобы проводники легче снимались с шаблона, поверхность его основания сделана с небольшим уклоном в сторону передней боковой планки.

На заводах применяют более сложные шаблоны, позволяющие наматывать несколько катушек последовательно, не обрезая провода, после окончания намотки каждой из них. Обычно шаблоны рассчитаны для намотки катушек, составляющих одну или две катушечные группы, а в небольших машинах — всей фазы обмотки.

Шарнирный шаблон (рис. 48) рассчитан на непрерывную намотку девяти катушек. Оправка шаблона ввертывается в резьбовое отверстие вала намоточного станка. Желобки для фиксирования положения проводников имеют только головки *1* и *2* шаблона. Головки съемные. Их можно заменять, чтобы наматывать катушки разной ширины для обмоток с большим или меньшим шагом, или изменять расстояние между ними, чтобы намотать катушки с другой длиной прямолинейной пазовой части. Для удобства съема намотанных катушек головки шаблона крепятся на шарнирах *3*. После окончания намотки всех катушек витки каждой из них закрепляют лентой, ослабляют гайку *5* и снимают крепежную планку *4*. После этого шарниры складываются, головки сближаются и освобождают намотанные катушки.

Если обмотка должна быть выполнена не одним, а несколькими параллельными проводами, то их наматывают одновременно. Каждый провод сматывается с отдельной бухты и проходит через самостоятельное натяжное устройство. Натяжение всех проводов должно быть одинаково. В асинхронных двигателях старых выпусков число паралельных проводов могло быть 8—10, что вызывало трудности в размещении оборудования (приходилось устанавливать 8—10 бухт с обмоточным проводом около одного станка) и в создании одинакового натяжения всех проводов. В новых сериях асинхронных двигателей — 4А, 4АМ, АИ и др. количество параллельных проводов в обмотках меньше. Обмотка большинства машин малой мощности состоит из одного — трех параллельных проводов и только в двухполюсных двигателях мощностью несколько десятков киловатт она образуется из 5—6 параллельных проводов.

Промышленность выпускает также полуавтоматические станки типа НГ, на которых установка шаблонов и съем намотанных катушек производятся вручную, а намотка провода с заданным натяжением, раскладка по желобу, переброс провода от одного ручья шаблона к другому и отсчет витков — автоматически. Для повышения производительности на некоторых станках этого типа, например станке НГ-4, на шпиндель устанавливаются сразу два намоточных шаблона, на которые одновременно наматывают катушки двух разных фаз обмотки.

Намотанные катушки комплектуются и на обмоточный участок передается полный комплект катушек для конкретной машины.

§ 19. УКЛАДКА ОДНОСЛОЙНЫХ ОБМОТОК ИЗ КРУГЛОГО ПРОВОДА

На заводах, на которых выпускаются электрические машины различных размеров и с разными обмоточными данными, но относительно небольшое количество машин каждого типоразмера, обмотку из круглого провода укладывают вручную. Так же вручную укладывают обмотку и на ремонтных предприятиях, так как на ремонт поступают различные по своим данным машины в основном старых выпусков, пазы которых не рассчитаны на механизированную укладку обмотки.

На рабочее место обмотчика поступает подготовленный для укладки обмотки сердечник статора, комплект катушек обмотки и изоляционных деталей — пазовых коробов, прокладок и т. п.

Однослойная обмотка укладывается в пазы статора до запрессовки сердечника в корпус. Во время укладки обмотчик должен иметь возможность поворачивать статор вокруг вертикальной оси различными торцами к себе и вокруг горизонтальной оси так, чтобы паз, в который укладываются проводники, находился внизу. Для этой цели рабочее место обмотчика оборудуется поворотным

столом 1 с поворотными роликами 2 (рис. 49). Намотанные катушки должны быть разложены на рабочем месте в порядке их укладки в пазы. Так же должны быть разложены заготовки изоляции и инструменты обмотчика. Прежде чем начать укладку, необходимо убедиться в хорошем состоянии внутренней поверхности пазов статора. Пазы должны быть чистыми, а их стенки — ровными, без заусенцев на кромках листов.

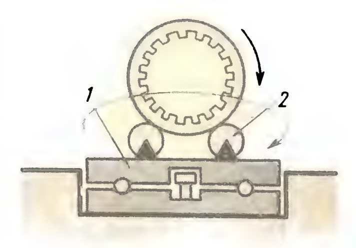


Рис. 49. Поворотный стол

После проверки устанавливают пазовую изоляцию — пазовые короба, заготовки которых с нужными размерами подготовляют заранее. На большинстве заводов пазовые короба предварительно формуют — изгибают по форме паза. Это облегчает их правильную установку в пазы и повышает производительность обмотчика. Торцы пазовых коробов подгибают так, чтобы в местах выхода из паза образовался двойной слой пазовой изоляции — манжета (рис. 50). Манжеты предохраняют торцы пазовых коробов от разрыва при укладке обмоток в пазы.

Чтобы предохранить изоляцию обмоточного провода от повреждений о кромки шлица, заготовки коробов делают более широкими. Их края выступают из паза и закрывают кромки шлица (рис. 51). В некоторых случаях для этой цели в пазы устанавливают проходные вкладыши из электрокартона. Это позволяет уменьшить ширину заготовки короба.

Катушечные группы однослойных обмоток наматываются на шаблонах целиком. Укладку концентрических обмоток начинают с больших катушечных групп. После того как уложены и закреплены в пазах все большие катушечные группы, формуют и отгибают их лобовые части и приступают к укладке малых катушечных групп. Начала и концы каждой катушечной группы располагают параллельно лобовым частям и привязывают к ним не обрезая. Если в чертеже предусматривается изоляция лобовых частей, то

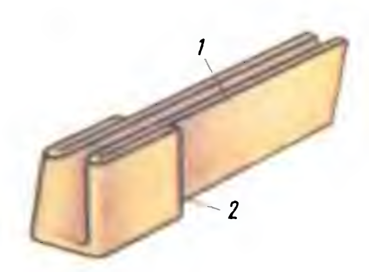
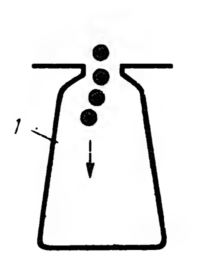


Рис. 50. Манжеты на пазовых коробах:

1 — пазовый короб, 2 — отогнутая манжета



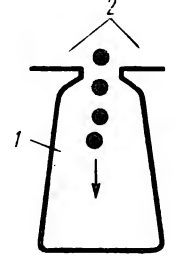


Рис. 51. Пазовый короб и вкладыши для укладки обмотки:

1 — пазовый короб; 2 — проходные вкладыши

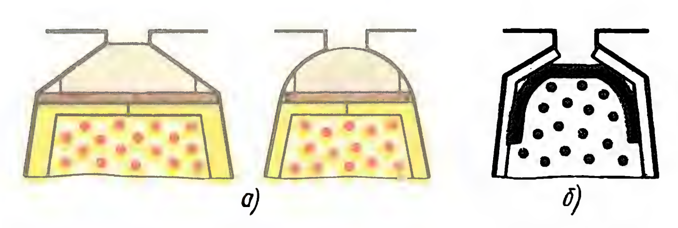


Рис. 52. Крепление проводников обмоток из круглого провода в пазу:

а — пазовым клином, *б*.— пазовой крышкой

лобовые части больших катушечных групп изолируются до укладки малых групп.

Проводники обмоток должны быть плотно закреплены и в пазовой, и в лобовой частях, чтобы при любых режимах работы машины — во время пуска, резкого изменения нагрузки, при вибрации во время работы — они оставались неподвижными относительно друг друга и металлических частей машины. Способы крепления проводников в пазовых и лобовых частях зависят от типа обмотки, от мощности машины и ее конструкции.

В процессе ручной укладки всыпной обмотки проводники в пазу уплотняются. После того как в паз уложены последние проводники, обмотчик осаживает их на дно паза. Края пазовой изоляции, выступающие из шлица, подрезают, завертывают внутрь паза, устанавливают прокладку (рис. 52, *а*) и забивают пазовый клин. В машинах малой мощности проводники в пазу закрепляют с помощью пазовых крышек (рис. 52, *б*). Правильно забитый клин должен плотно держаться в пазу и прижимать проводники обмотки к дну паза. Пазовые клинья по своему сечению повторяют конфигурацию верхней части пазов: они имеют либо полукруглое, либо трапецеидальное сечение. Раньше клинья делались из твердых пород дерева, преимущественно из бука, сушились и проваривались в льняном масле, чтобы уменьшить гигроскопичность дерева. В современных машинах пазовые клинья для всыпных обмоток делают большей частью из текстолита или из стеклотекстолита.

После укладки и заклинивания всей обмотки приступают к соединению схемы. Выводные концы катушечных групп отгибают в нужном направлении в соответствии со схемой обмотки и обрезают по размеру. Изоляция проводников в местах соединений зачищается на длину 35—40 мм, на их концы надевают изоляционную трубку диаметром, близким к диаметру проводника, и, кроме того, на один из проводников — изоляционную трубку большего диаметра. Зачищенные концы проводников скручивают и сваривают с помощью угольного электрода. Для этого (рис. 53) зачищенную от изоляции скрутку проводов *1* зажимают сварочными клещами *2*, к которым подводится напряжение от однофазного понижающего трансформатора. Второй вывод трансформатора подводят к держателю *4* угольного электрода *3*. При прикосновении электрода к торцам свариваемых проводников электрическая цепь

замыкается. Ток нагревает угольный электрод и торцы проводников оплавляются. В целях безопасности напряжение при сварке не превышает 12 В. Лишь при сварке проводников диаметром более 1 мм это напряжение может быть повышено до 24 В. Сварку производят только в защитных очках. После сварки скрутку отгибают, прижимая ее к одному из проводов. На место соединения натягивают изоляционную трубку 5 большего диаметра и закрепляют ее.

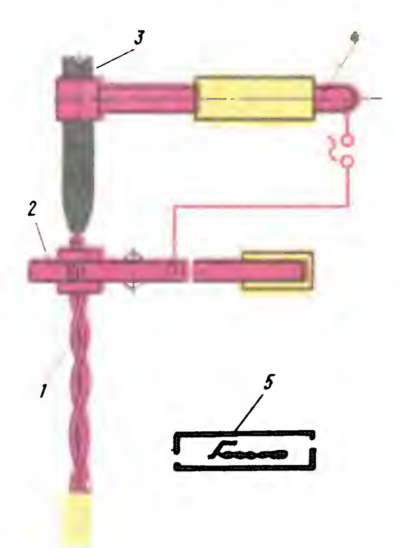


Рис. 53. Установка для сварки проводов

Для скрутки и отрезки проводов во время соединения схемы применяются также различные механические устройства. Например, для скрутки и отрезки проводов при выполнении соединений в схеме обмоток статоров асинхронных двигателей серии 4А с высотой оси вращения 71—100 мм применяют автоматизированную установку УС-12, на которой скручивание и обрезка проводов выполняются автоматически. Эта установка может соединять до шести проводов в одну скрутку с общим диаметром пучка не более 3 мм. Длина скрутки после обрезки — 18 мм. Производительность установки 10—12 скруток/мин.

Для соединения проводов внутри схемы помимо сварки вручную применяют установки, осуществляющие газовую сварку медных проводов ПЭВ-2 и ПЭТВ, например УС-9. На этой же установке сваривают концы фаз с многожильными выводными проводами ЛПА. Для сварки без предварительной зачистки изоляции применяют газ — пропан-бутан с кислородом. Производительность установки УС-9 — до 300 соединений/ч.

После окончания работ по укладке обмотки, заклиниванию пазов, соединению и пайке схемы и выводных концов устанавливают междуфазовую изоляцию в лобовых частях и отформовывают — отбивают лобовые части обмотки. Это делается для того, чтобы лобовые части витков лежали компактно и занимали строго определенное место с торцов статора, предусмотренное чертежом.

Отформованные лобовые части туго увязывают между собой — бандажируют прочной нитью из стекловолокна или капрона. В таком виде статор поступает на контроль правильности проделанных работ и после этого на пропитку. Пропиточный лак цементирует обмотку в пазовой и лобовых частях и приданное при формовке лобовых частей положение не меняется в процессе завершения работ по изготовлению двигателя и во время его эксплуатации.

Укладка обмотки — одна из наиболее ответственных операций при изготовлении электрической машины. Она требует большого внимания, производственных навыков и высокой квалификации обмотчиков. Небрежность, допущенная при укладке проводников в пазы, повреждение проводниковой изоляции при резких ударах по лобовым частям или при уплотнении проводников в пазу, неправильное положение лобовых частей катушек и другие ошибки обмотчика, как правило, приводят к браку в работе. Часть дефектов, возникающих при обмоточных работах, не зависит от обмотчика. Так, например, может быть ошибочно скомплектован набор изоляционных коробов, не соответствующих размерам пазов, плохо намотаны катушки обмотки, уменьшено или увеличено число витков в катушках, повреждена изоляция провода и т. п. Такие ошибки в практике встречаются редко, однако квалифицированный обмотчик должен уметь вовремя их обнаружить и исправить, а также выяснить причины брака и принять меры к их устранению.

Поэтому укладка обмотки в пазы не является чисто механической работой, заключающейся в аккуратном пропускании проводников в паз, а требует предварительной подготовки. Обмотчик, приступая к укладке обмотки, должен познакомиться с чертежом и обмоточными данными двигателя. Он должен знать тип электродвигателя, его номинальное напряжение, число полюсов, шаг обмотки по пазам, диаметр обмоточного провода и число проводников в пазу. Необходимо проверить полученные для укладки обмотки катушки и заготовки изоляции и их соответствие обмоточным данным и чертежу. Лишь после этого можно приступить к укладке обмотки в пазы.

§ 20. УКЛАДКА ДВУХСЛОЙНЫХ ОБМОТОК ИЗ КРУГЛОГО ПРОВОДА

Перед укладкой двухслойной обмотки вручную статор подготовляют и устанавливают пазовые короба так же, как и при однослойной обмотке. Все катушки двухслойных обмоток имеют одинаковые размеры. Катушечные группы в обмотках с целым числом пазов на полюс и фазу содержат одинаковое число катушек, поэтому безразлично, с какой катушечной группы начинать укладку обмотки.

В обмотках с дробным числом q катушечные группы укладывают строго в последовательности, указанной в схеме обмотки, т. е. в порядке чередования больших и малых катушечных групп, принятом для данной обмотки.

Сложность укладки двухслойных всыпных обмоток заключается в том, что одна из сторон катушек должна лежать в верхней части паза, а другая — в нижней. Поэтому первые катушки не могут быть уложены в пазы сразу обеими сторонами. Вначале укладываются только те стороны, которые должны лежать в ниж-

них частях пазов — в нижнем слое. Оставшиеся стороны катушек временно размещают над пазами внутри статора по шагу обмотки. Число таких катушек в обмотке равно шагу, выраженному в пазовых делениях. Их называют катушками первого шага или замковыми. Все последующие катушки укладывают в пазы уже обеими сторонами на предназначенные им места. Требования к укладке катушек двухслойной обмотки такие же, как и к укладке однослойных, т. е. проводники обмотки должны лежать в пазу плотно, ровно, без изгибов и перекрещиваний и т. п.

Отличительной особенностью укладки двухслойных обмоток является установка междуслойной изоляции — прокладок в пазах. Прокладки устанавливают сверху проводников нижних сторон катушек, уложенных в пазы. Прокладки должны изолировать проводники нижнего слоя от проводников стороны катушки, лежащей в верхнем слое паза. Совершенно недопустимо, чтобы даже один проводник из одного слоя обмотки оказался в другом слое. Это приведет к пробою изоляции при испытаниях или, что еще хуже, во время работы машины и потребует замены только что уложенной обмотки или ремонта уже эксплуатируемой электрической машины.

Лобовые части катушек по мере укладки выравниваются с обоих торцов статора. После укладки очередной катушки и выравнивания ее лобовых частей в пазы, уже полностью заполненные проводниками, т. е. в те, в которые уложены и нижние и верхние стороны катушек, устанавливают пазовые крышки или клинья.

Особенно сложной при укладке двухслойных обмоток является укладка последних катушек, нижние стороны которых должны быть размещены в пазах под верхними сторонами катушек первого шага. Стороны замковых катушек приподнимают и закрепляют внутри статора на некоторой высоте над пазами. Эту операцию называют подъемом шага. В пазы пропускают проводники нижних сторон последних катушек, уплотняют и устанавливают междуслойные прокладки. После этого укладывают в верхние части пазов поднятые стороны замковых катушек, т. е. как бы замыкают замок обмотки (отсюда название этих катушек).

Уложив в пазы и закрепив катушки обмотки, устанавливают между лобовыми частями соседних катушечных групп междуфазовую изоляцию в виде прокладок из листового изоляционного материала. Лобовые части выравнивают и туго увязывают шнуром или прочной нитью в жгуты. Выводные концы каждой катушечной группы выводят за пределы лобовых частей. Лобовые части отгибают, ударяя молотком через прокладку, и формуют, придавая им положение, предусмотренное в чертеже обмотанного статора.

Выводные концы обрезают по размерам, зачищают изоляцию провода и соединяют схему обмотки. После пайки и изолирования мест соединения обмотанный статор поступает на контроль правильности уложенной обмотки и в пропиточное отделение.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как устроен шаблон для намотки катушек из круглого провода?

2. Зачем на рабочем месте обмотчика устанавливают поворотный стол и ролики?

3. Перечислите основные операции ручной укладки обмотки из круглого провода в пазы статора.

4. Зачем нужно заклинивать пазы после укладки каждой катушки обмотки?

5. С какой целью поднимают стороны шаговых катушек на заключительном этапе укладки двухслойной обмотки?

6. Какую роль играет прокладка в пазу между слоями двухслойной обмотки из круглого провода?

7. Как закрепляют лобовые части обмотки из круглого провода и когда производят эту операцию?

8. Как изолируют друг от друга лобовые части катушек разных фаз?

ГЛАВА VI

МЕХАНИЗАЦИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И УКЛАДКИ ОБМОТОК СТАТОРОВ ИЗ КРУГЛОГО ПРОВОДА

§ 21. МЕХАНИЗАЦИЯ ОБМОТОЧНЫХ РАБОТ

Изготовление и укладка обмотки из круглого провода самая трудоемкая операция в производстве электрических машин. Обмотчик во время укладки обмотки вручную должен выполнять множество одинаковых движений: устанавливать изоляцию в каждый паз машины, пропускать проводники через шлицы пазов, выравнивать и уплотнять их в каждом пазу, заклинивать пазы, формировать и закреплять лобовые части обмотки. При всей своей кажущейся простоте укладка и закрепление обмотки в статоре требуют от обмотчика высокой квалификации и очень большой внимательности. Любое неверное движение, резкий удар или изгиб обмоточного провода может привести к браку. Поврежденная изоляция не выдержит испытания, уложенную обмотку придется вынимать из пазов и всю работу начинать заново. Пропадает работа не только самого обмотчика, совершившего ошибку, но и всех тех, кто выполнял предыдущие операции: заготовлял изоляцию, наматывал катушки и т. п. Обмоточный провод, из которого были намотаны катушки, нельзя вторично использовать. Поэтому вопросам механизации обмоточных работ, особенно важным при массовом выпуске электрических машин с обмоткой из круглого провода, в последние годы уделяется много внимания.

На предприятиях с массовым выпуском двигателей механизирована большая часть операций по намотке статоров: изолирование пазов, намотка и укладка обмотки, заклинивание, формовка и крепление лобовых частей обмоток. Создано высокопроизводительное оборудование, освободившее обмотчиков от монотонной работы, намного повысившее производительность их труда.

Однако широкое распространение механизированного оборудования не только не уменьшило, но, наоборот, повысило требования к квалификации обмотчиков. Обмотчики электрических машин, работающие на различных станках — пазоизолировочных, для механизированной укладки обмоток, для бандажирования лобовых частей и т. п. — должны знать не только схемы и конструкцию обмоток, методы их изготовления и укладки, но и уметь работать на станках, знать назначение их основных конструктивных элементов и принцип действия каждого механизма станка и уметь контролировать его работу.

§ 22. ИЗОЛИРОВАНИЕ ПАЗОВ СТАТОРА

Для изолирования обмоток из круглого провода в пазы статора до укладки обмотки надо установить корпусную изоляцию в виде пазовых коробов (см. рис. 50 и 51). Эта операция выполняется на полуавтоматических станках, среди которых наибольшее распространение имеют станки ИПС и ИС (обозначение типа станка образовано из первых букв выполняемой операции, например, изолирование пазов статора). Станок ИПС (рис. 54) состоит из механизма привода, подающего устройства, формующе-отрезающего устройства, механизма поворота статора и механизма подачи пазового короба в пазы статора.

Лента изоляционного материала *1*, по ширине соответствующая развернутой длине пазового короба, т. е. его длине при развернутых манжетах, протягивается подающим механизмом *3* прерывистого действия через профильные направляющие *2* в формующе-отрезной механизм. В профильных направляющих происходит

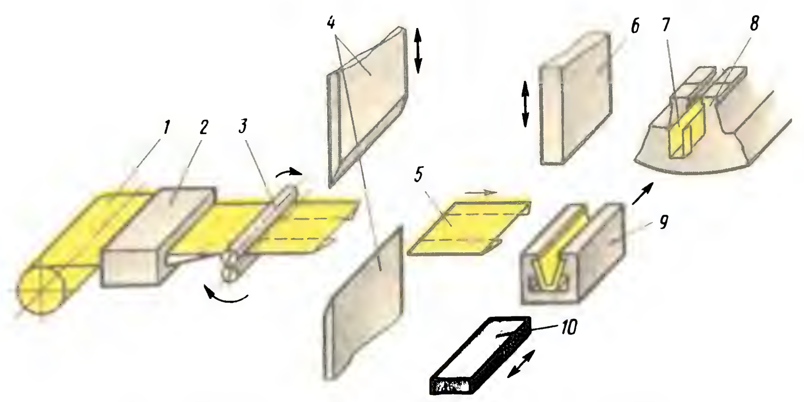


Рис. 54. Принципиальная схема работы станка ИПС

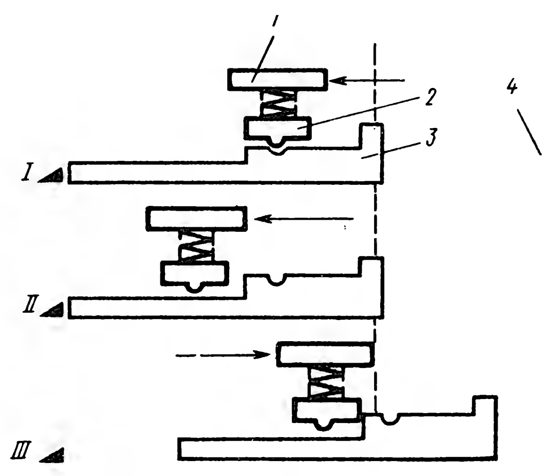


Рис. 55. Принцип действия механизма подачи станка ИПС

изгиб и отбортовка ленты, т. е. загиб манжет. Лента передвигается прерывисто на определенный шаг, равный нужной ширине короба, а участок ленты отрезается гильотинными ножницами *4*. Полученная заготовка короба *5* в это время находится над формующей матрицей *9*. Размеры матрицы соответствуют размерам паза статора. Пуансон *6* подает заготовку в матрицу и формует пазовый короб. Матрица одновременно служит направляющим желобом для установки отформованного короба *7* в паз статора *8*, который располагается непосредственно против матрицы. Досылатель *10* механизма подачи перемещает короб в паз и отходит назад, после чего статор с помощью поворотного устройства поворачивается на одно зубцовое деление и цикл работы повторяется. Механизм подачи короба в паз (рис. 55) имеет предохранительное устройство, которое защищает станок от случайных перегрузок. Например, при смятии короба во время подачи его в паз статора (положение *I*) нагрузка на досылатель *3* возрастает. Фиксатор *2*, которым связан досылатель с подвижной кареткой *1* механизма подачи, освобождается, досылатель дальше не движется, а каретка проходит вперед (положение *II*). При обратном движении фиксатор *2* захватывает досылатель и подает его назад дальше, чем при нормальной работе (положение *III*). Досылатель воздействует на конечный выключатель *4* и останавливает станок.

Существует несколько модификаций станков ИПС и ИС. Базовой моделью является станок ИС23А. Он предназначен для изолирования пазов статоров с внутренним диаметром 160—350 мм. Асинхронные двигатели с таким внутренним диаметром статора имеют мощность 2,2—30 кВт. За одну минуту станок может установить короба в 60—100 пазов в зависимости от размеров статора. Таким образом, станок может установить пазовую изоляцию в один статор, имеющий, например, 54 паза, за 30—40 с.

§ 23. ОБМОТКИ ДЛЯ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ УКЛАДКИ

На современных обмоточных станках можно укладывать в пазы только обмотки, в которых не нужно поднимать шаг на заключительной стадии укладки. Двухслойные обмотки, схемы которых были рассмотрены ранее (см. § 13), укладываются только с подъемом шага, поэтому их укладка не поддается механизации. Без подъема шага могут быть уложены однослойные обмотки, но их применяют лишь в двигателях мощностью не более 12—15 кВт, так как в однослойных обмотках нельзя выполнить укороченный шаг, что отрицательно влияет на характеристики двигателя.

Чтобы расширить область применения механизированных способов намотки статоров и наматывать на станках обмотки машин большей мощности, разработаны специальные типы обмоток, обладающие достоинствами и двухслойных, и однослойных. Их укладка производится без подъема шага, поэтому может быть механизирована, а схема позволяет выполнить укороченные шаги, как в двухслойных обмотках. Такими обмотками являются одно-двухслойные и двухслойные концентрические.

Одно-двухслойные обмотки. Одно-двухслойная обмотка (рис. 56) выполняется концентрическими катушками. В отличие от других видов обмоток в ее катушечную группу входят катушки с разными числами витков: в больших катушках в два раза больше витков, чем в малых (рис. 57). Стороны больших катушек занимают весь паз, как в однослойных обмотках. Стороны малых катушек располагаются в пазах в два слоя, как в двухслойных обмотках. Распределение по пазам больших и малых катушек основано на следующем.

В обычной двухслойной обмотке с укорочением шага в некоторых пазах располагаются катушки, принадлежащие разным фазам, например (см. рис. 28) в пазах *2, 4, 6, 8* ... . В остальных пазах располагаются стороны катушек одной и той же фазы. В одно-двухслойных обмотках две стороны катушек одной и той же фазы, лежащие в одном пазу, как бы объединяются и образуют сторону большой катушки с двойным числом витков. В остальных пазах располагаются в два слоя стороны малых катушек с одинарным числом витков. Катушки распределены по статору так, что в каждой фазе оказывается одинаковое число больших и малых катушек, а также катушек, обе стороны которых лежат только в нижнем или только в верхнем слое паза. Поэтому обмотка получается симметричной. Определенная последовательность укладки больших и малых катушек позволяет выполнить обмотку без подъема шага.

Расчетное укорочение шага одно-двухслойной обмотки зависит от числа пазов на полюс и фазу — q и числа больших катушек в катушечной группе. В трехфазных двигателях находят применение одно-двухслойные обмотки с одной большой катушкой в группе (см. рис. 56). При $q = 3$ или $q = 4$ расчетное укорочение таких обмоток составляет $\beta = 0{,}89$ и $\beta = 0{,}83$, т. е. примерно столько

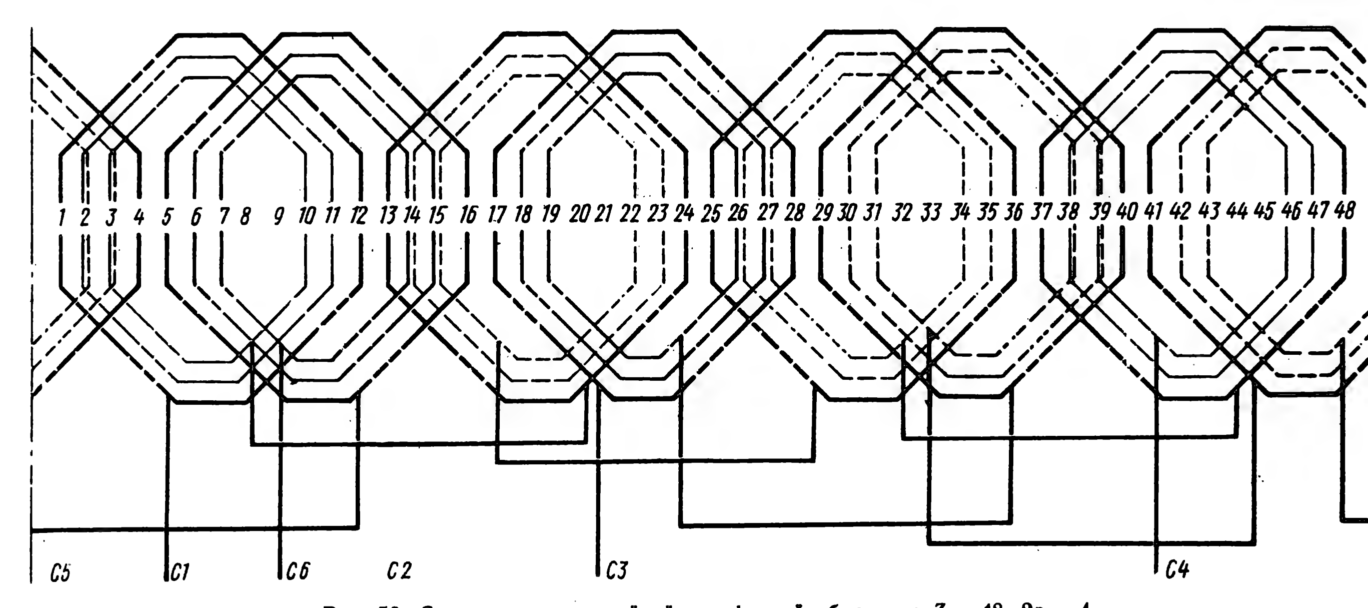


Рис. 56. Схема одно-двухслойной трехфазной обмотки с $Z = 48$, $2p = 4$

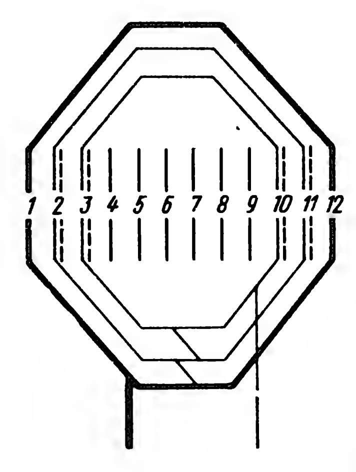


Рис. 57. Катушечная группа одно-двухслойной обмотки

же, как и в обычной двухслойной обмотке с укорочением шага. Это позволяет устанавливать одно- и двухслойные обмотки в двигателях мощностью более 12—15 кВт и применять для них механизированные способы укладки.

В однофазных и двухфазных двигателях одно-двухслойная обмотка выполняется как с одной, так и с несколькими большими катушками в катушечной группе (рис. 58). Их применяют с целью улучшения обмоточного коэффициента по сравнению с однослойными обмотками.

Двухслойная концентрическая обмотка. Двухслойная концентрическая обмотка (рис. 59) состоит из концентрических катушек разных размеров, стороны которых располагаются в пазах в два слоя. Она отличается от двухслойной обмотки с одинаковыми катушками соединением в лобовых частях и шагами катушек. Катушки, составляющие катушечную группу двухслойной концентрической обмотки (рис. 60), имеют разные шаги по пазам и разную длину лобовых частей. Так как все катушки в группе и обычной и концентрической двухслойных обмоток соединяются последовательно, то эдс группы не зависит от последовательности соединения сторон

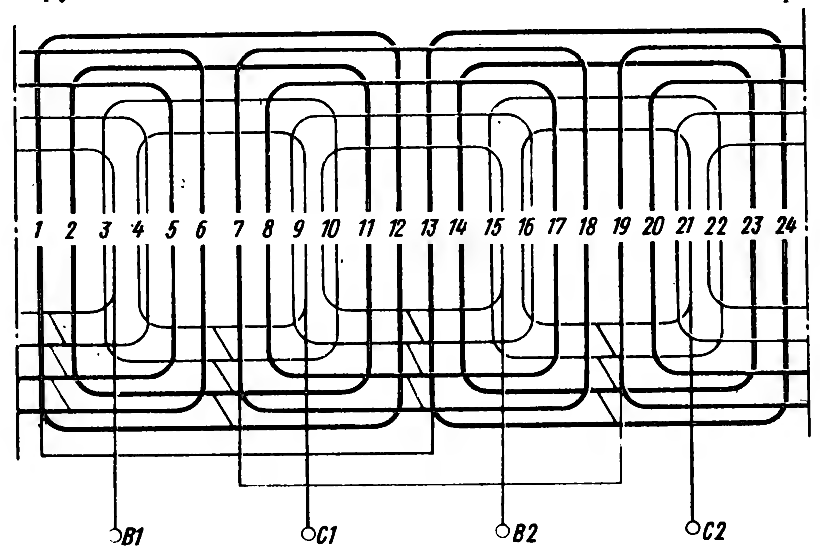


Рис. 58. Схема одно-двухслойной двухфазной обмотки с двумя большими катушками в группе

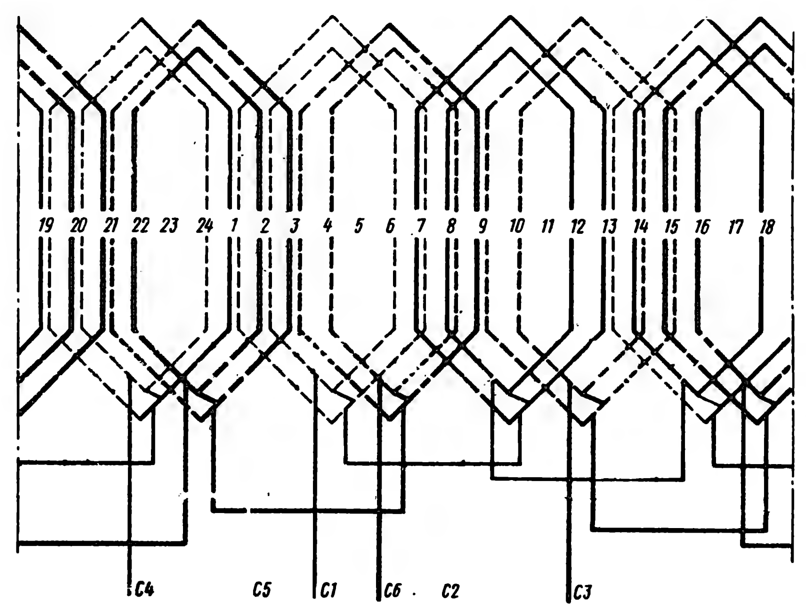


Рис. 59. Схема двухслойной концентрической обмотки с $Z=24$, $2p=4$, $m=3$

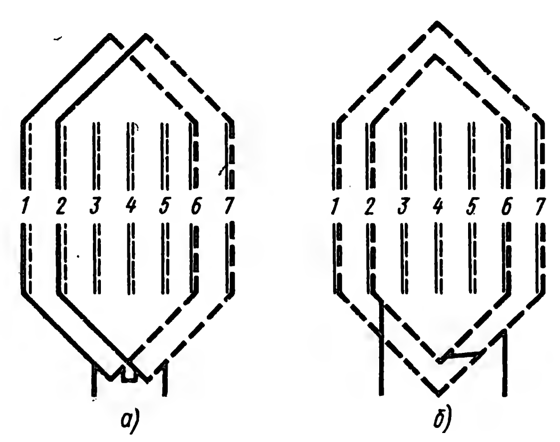


Рис. 60. Катушечные группы обмоток:
а — двухслойной, *б* — двухслойной концентрической

катушек. Она будет одинакова в обеих обмотках с равным числом витков, поэтому будут равны и их обмоточные коэффициенты.

Двухслойная концентрическая обмотка применяется в таких же по мощности машинах, что и обычная двухслойная, т. е. мощностью более 12—15 кВт. Ее укладывают в пазы без подъема шага, поэтому процесс укладки можно механизировать.

§ 24. МЕХАНИЗИРОВАННАЯ НАМОТКА СТАТОРОВ СОВМЕЩЕННЫМ МЕТОДОМ

Современные обмоточные станки по последовательности укладки обмотки в пазы подразделяются на два типа: станки для совмещенной намотки и станки для раздельной намотки. Станки для совмещенной намотки укладывают поочередно каждый виток обмотки в пазы по шагу катушки. Провод сматывается непосредственно с бухты. При раздельной намотке провод предварительно наматывают на шаблоны, после чего втягивают с торца статора в пазы все проводники, образующие катушечную группу или даже несколько катушечных групп одновременно.

Способ совмещенной намотки состоит в следующем (рис. 61). Внутри статора *5* строго вдоль пазов *6* двигается проводоводитель *2*, представляющий собой полую штангу. На конце проводоводителя укреплена головка, оканчивающаяся иглой *4* с внутренним отверстием. Игла при движении проводоводителя движется внутри паза вдоль всего статора. Обмоточный провод *1* от бухты пропускается через внутреннее отверстие проводоводителя и иглу и закрепляется на статоре. При движении проводоводителя провод сматывается с бухты и укладывается в паз статора. После того как игла выйдет из паза с торца статора *3*, головка поворачивается на определенный угол и игла оказывается против паза, расположенного по шагу витка. При этом повороте образуется лобовая часть витка. Во время обратного движения проводоводитель укладывает вторую сторону витка в паз на расстоянии шага от первой уложенной стороны. После выхода иглы из паза с другой стороны статора головка поворачивается на тот же угол, но в обратную сторону, образуя вторую лобовую часть витка. Возвратно-поступательные движения и повороты повторяются до намотки нужного числа витков данной катушки. После этого программное устройство поворачивает статор на определенный угол так, чтобы игла проводоводителя оказалась перед следующим пазом, в который нужно уложить провод, и цикл движений проводоводителя и головки повторяется.

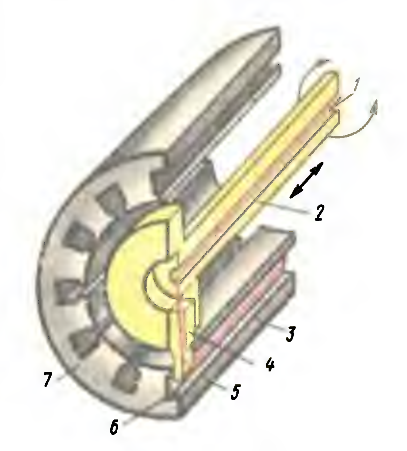


Рис. 61. Движение проводоводителя при совмещенном методе намотки

Длина продольных перемещений, число ходов проводоводителя и углы поворота головки и статора задаются в программное устройство станка в зависимости от размеров статора и и его обмоточных данных.

Чтобы во время укладки не возникали перекрещивания проводов в пазах, чтобы осадить провода на дно

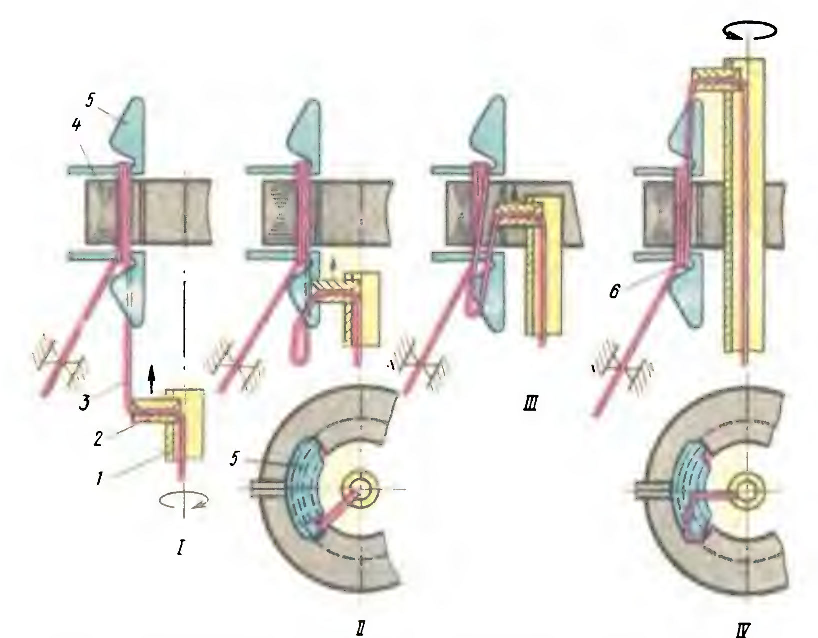


Рис. 62. Схема образования витков на станках с формообразующими шаблонами лобовых частей (*I—IV* — положения проводоводителя при образовании одного витка)

паза и придать правильную конфигурацию лобовым частям катушек, применяют различную оснастку: фасонные шаблоны, крючья, отклоняющие рычаги.

Фасонные шаблоны *5* (рис. 62) используют, например, в станке ОС-16. Во время намотки при повороте головки *2* в конечных положениях проводоводителя *1* обмоточный провод *3* попадает на криволинейную часть шаблона (положение *I*). При обратном движении проводоводителя (положения *II* и *III*) он натягивается, скользит по поверхности шаблона, осаживается на дно паза статора *4* и укладывается на участок шаблона *6*, форма и размер которого определяют расположение и форму лобовых частей катушки (положение *IV*).

Станки с оснасткой в виде фасонных шаблонов могут укладывать в пазы до 700 витков обмотки в минуту. Они применяются, например, для намотки равнокатушечных однослойных обмоток или обмотки машин малой мощности с явновыраженными полюсами на статоре.

Для укладки концентрической обмотки используют станки с оснасткой в виде формообразующих крючьев, которые устанавливают с обоих торцов статора (рис. 63). Отличие их работы от станков с шаблонной обмоткой заключается в способе образования лобовых частей витков. Головка *1* проводоводителя *2* после того, как игла выйдет из паза за крючья (положе-

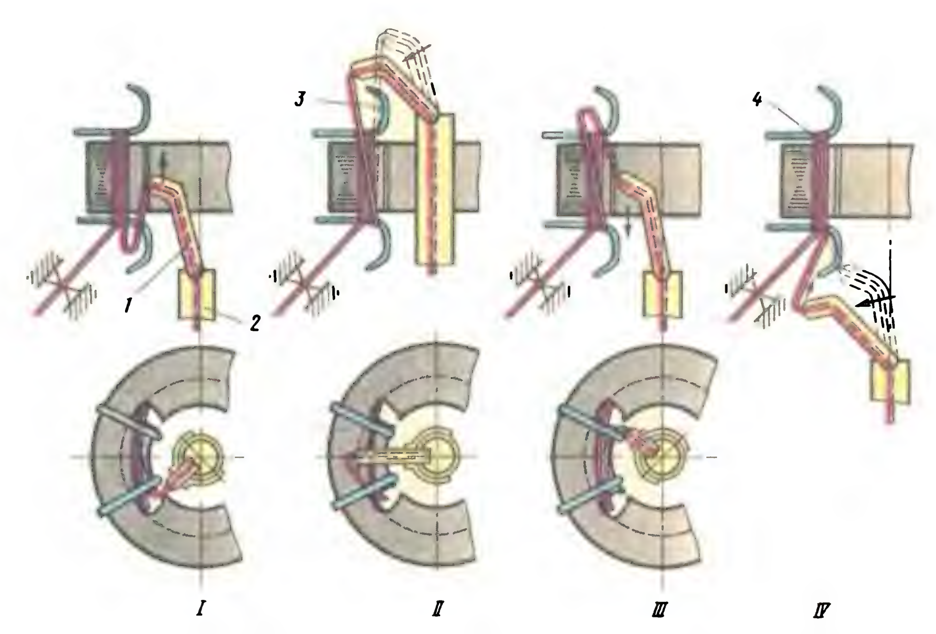


Рис. 63. Схема образования витков на станках с оснасткой в виде формообразующих крючьев

ние *II*), делает добавочное движение в сторону крючьев *3* — «клевок» и при повороте забрасывает провод за них. После поворота на нужный угол головка возвращается в прежнее положение (*III*), двигается вдоль паза статора в обратном направлении и укладывает в паз вторую сторону витка. Провод в лобовой части *4* утягивается и занимает предназначенное ему место.

Выйдя за крючья с другого торца статора, головка вновь делает «клевок» (положение *IV*), забрасывает провод за крючья и поворачивается, образуя вторую лобовую часть витка.

Более универсальными и производительными являются станки со сложными проводоукладчиками. В них формирование лобовых частей и осадка проводников на дно паза осуществляются с помощью отклоняющих рычагов и крючьев (рис. 64). Так работает, например, станок ОС-21. Сердечник статора *8* закрепляется на станке в гнезде *9*. К его торцам прижимаются обоймы с крючьями *4*, которые служат для удержания лобовых частей катушек. Обмоточный провод *6* с бухты через натяжное устройство поступает в проводоводитель *5*, на котором укреплена обмоточная головка *2* с иглами *1* для укладки проводов в пазы статора и отклоняющими передними и задними рычагами *3* (на рис. 64 для упрощения показана только одна — передняя пара рычагов). Отклоняющие рычаги шарнирно соединены со штоком *7,* проходящим внутри проводоводителя. При

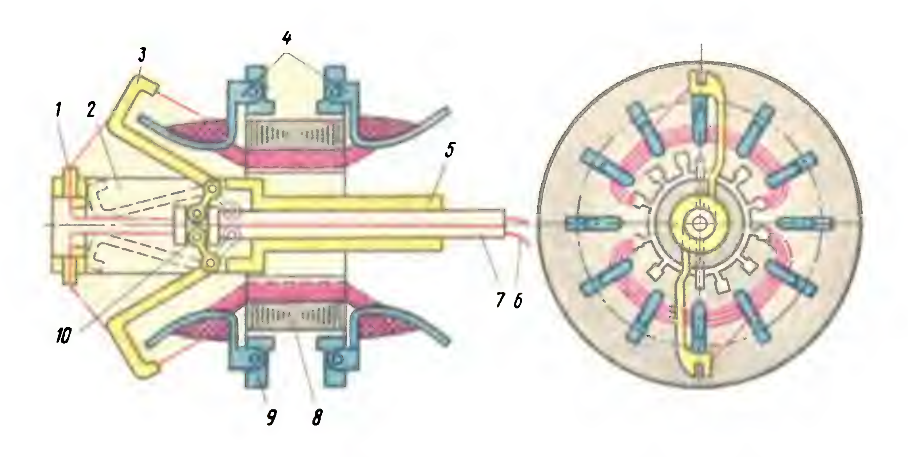


Рис. 64. Схема образования витков на станках с помощью отклоняющих рычагов и крючьев

поступательном движении проводоводителя шток неподвижен относительно него и занимает среднее положение, при котором отклоняющие рычаги сжаты. Когда проводоводитель достигнет крайнего переднего положения и останавливается, шток продолжает движение и с помощью шарниров *10* раздвигает отклоняющие рычаги. При этом рычаги отводят обмоточный провод от торца статора, укладывают его на крючья оснастки и осаживают на дно паза. Проводоводитель с обмоточной головкой поворачивается на угол, соответствующий шагу катушки, и обмоточный провод занимает место, предназначенное для ее лобовой части. После этого шток проводоводителя возвращается в среднее положение и рычаги сжимаются. Проводоводитель совершает обратное движение вдоль статора, укладывая провод в другой паз по шагу обмотки. Достигнув крайнего положения, он снова останавливается, шток продолжает движение и раздвигает задние отклоняющие рычаги, которые при повороте проводоводителя укладывают провод на крючья оснастки и таким образом формируют вторую лобовую часть витка. Цикл работы повторяется до окончания намотки всей катушки.

На рис. 65 показана кинематическая схема станка ОС-21. Статор *3* закрепляется в гнезда *7*. Крючья оснастки *6* собраны в двух обоймах *8*, которые во время установки перемещаются в осевом направлении с помощью винтов *5*, приводимых во вращение электродвигателем *4* через цепную передачу. Проводоводитель *11* с обмоточной головкой *9* и отклоняющими рычагами *10* получает возвратно-поступательное движение от кулисно-рычажного механизма *14* и в двух крайних положениях при выходе иглы обмоточной головки из пазов имеет зоны покоя. В этих положениях шток *13* продолжает движение и раздвигает отклоняющие рычаги, после чего проводоводитель поворачивается на угол по шагу катушки механизмом *12*, укладывая

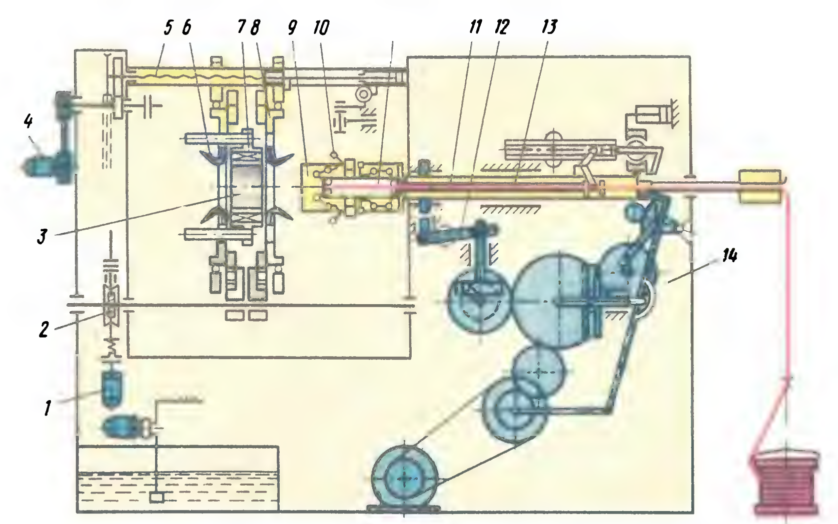


Рис. 65. Кинематическая схема станка ОС-21

лобовые части витков на крючья оснастки. При переходе к намотке следующей катушки или следующей катушечной группы гнездо, в котором закреплен статор, поворачивается так, что иглы обмоточной головки располагаются против нужных пазов. Поворот статора осуществляется двигателем *1* через механизм *2*, обеспечивающий заданный угол поворота.

Все операции, включая намотку катушек, изменение шага и переход на намотку следующих катушечных групп, осуществляются автоматически по составленной при наладке станка программе. Вручную производятся только установка и съем статора со станка. Станок рассчитан на одновременную намотку трех катушечных групп. Он предназначен для обмотки статоров электродвигателей серии 4А с внутренним диаметром статора 95—145 мм и длиной сердечника статора 100—160 мм. Скорость намотки до 140 двойных ходов в минуту.

§ 25. ЗАКЛИНИВАНИЕ ПАЗОВ

После укладки обмотки необходимо закрепить ее в пазах с помощью клиньев или пазовых крышек. В машинах небольшой мощности обмотку закрепляют пазовыми крышками.

Пазовые крышки представляют собой изогнутые по размеру паза полоски изоляционного материала. Их устанавливают в пазы над проводниками обмотки (см. рис. 52, *б*) на автоматических станках.

Станки для заклинивания, в которых используется изоляционный материал, шириной, равной длине пазовой крышки, работают следующим образом (рис. 66). Изоляционный мате-

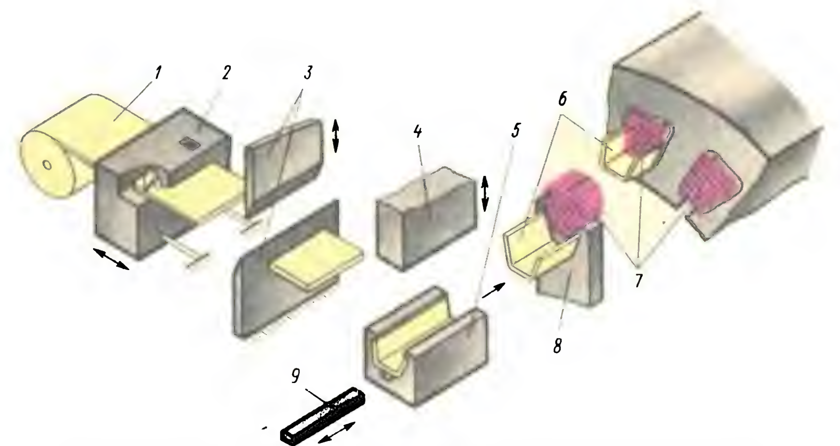


Рис. 66. Схема работы станка для заклинивания пазов статора

риал из рулона *1* заправляется в механизм подачи *2*, который направляет его в формовочно-отрезной механизм. Механизм подачи работает прерывисто. За каждый цикл он продвигает изоляционный материал на длину, равную ширине заготовки пазовой крышки. При неподвижном механизме подачи ножи *3* формовочно-отрезного механизма отрезают полосу изоляционного материала — заготовку пазовой крышки. Заготовка располагается над матрицей *5*, и пуансон *4*, опускаясь, формует крышку в матрице, после чего пуансон поднимается, а крышка *6* остается в матрице, которая одновременно служит направляющей для движения крышки.

Чтобы освободить место в пазу для установки крышки, проводники *7* обмотки отжимаются ко дну паза толкателем *8*. В это время досылатель *9* подает крышку в паз статора. После установки крышки статор поворачивается на одно пазовое деление так, чтобы очередной незаклиненный паз оказался против направляющей — матрицы, в которой к этому времени находится следующая готовая пазовая крышка. Процесс продолжается до заклинивания всех пазов статора, после чего станок автоматически останавливается.

§ 26. МЕХАНИЗИРОВАННАЯ НАМОТКА СТАТОРОВ РАЗДЕЛЬНЫМ МЕТОДОМ

Раздельный метод намотки статоров включает несколько операций: намотка витков катушек и катушечных групп на шаблоны, съем их с шаблона на приспособление для переноса, перенос приспособления на станок для втягивания и втягивание катушек в пазы с одновременной установкой пазовых крышек. Из этих операций механизированы основные — намотка на шаб-

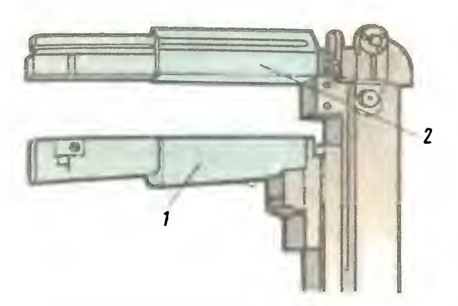




Рис. 67. Намоточный шаблон

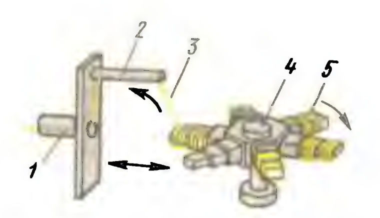


Рис. 68. Намотка катушек на неподвижные шаблоны

лоны и втягивание катушек в пазы. Снимают заготовки с шаблона и переносят на станок для втягивания вручную.

Шаблоны для намотки (рис. 67) имеют подвижную *1* и неподвижную *2* губки, на которые во время намотки ложатся лобовые части витков. Расстояние между губками устанавливается исходя из размеров катушек обмотки. Провод наматывается на шаблоны равномерно в один или несколько рядов.

Для намотки катушек концентрической обмотки наружную поверхность губок делают ступенчатой, со столькими ступенями, сколько катушек в одной катушечной группе. Это позволяет наматывать на один шаблон без перерыва всю катушечную группу концентрической обмотки. На рис. 67 изображен шаблон с двумя ступенями для намотки заготовок катушек концентрической обмотки с $q = 2$.

Намотку производят либо на неподвижные, либо на вращающиеся шаблоны. На неподвижные шаблоны провод наматывается с помощью вращающегося мотовила (рис. 68). Шаблоны *5* устанавливают на револьверной головке *4* станка. Обмоточный провод *3* проходит через полую ось намоточной головки *1* и наматывается мотовилом *2* на шаблон. В процессе намотки обмоточная головка сдвигается вдоль оси шаблона и витки провода равномерно без перекрещиваний раскладываются по шаблону. После окончания намотки одной катушечной группы провод обрезается, револьверная головка станка поворачивается и в таком же порядке наматывается следующая катушечная группа обмотки.

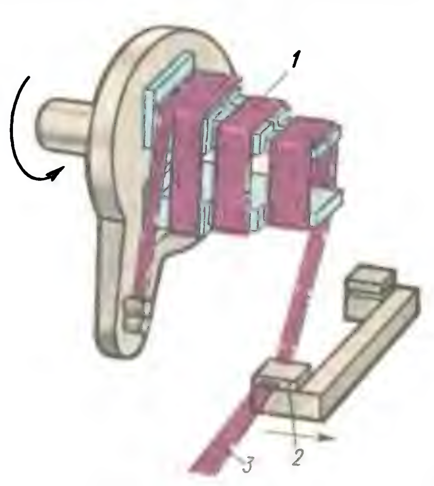


Рис. 69. Намотка катушек на вращающиеся шаблоны

В намоточных станках с

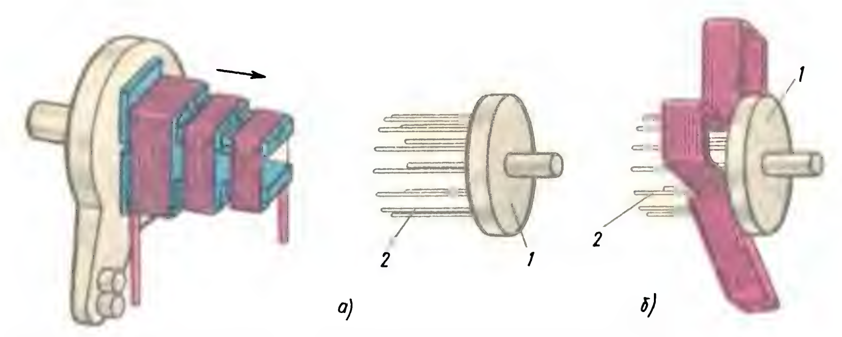


Рис. 70. Приспособление для переноса намотанных катушек:
а — перевод катушки с шаблона на приспособление, *б* — положение катушки на приспособлении

вращающимися шаблонами (рис. 69) провод *3* с бухты подается через натяжное устройство в раскладчик *2*. Раскладчик двигается вдоль шаблона и равномерно раскладывает витки *1* провода по его поверхности. После окончания намотки всей катушечной группы шаблон останавливается и провод обрезается. Головка станка поворачивается и происходит намотка следующей катушечной группы.

Когда намотаны все катушечные группы, которые будут одновременно втягиваться в сердечник статора, их снимают с шаблона на переносное приспособление. Приспособление (рис. 70) состоит из диска *1* и гладких стальных штырей *2*, число которых равно числу пазов статора. Намотанные катушки сдвигаются с шаблона на штыри приспособления таким образом, что каждая из них охватывает столько же штырей, сколько пазов будет между ее сторонами в сердечнике статора.

Процесс втягивания катушек в пазы упрощенно показан на рис. 71. Толкатель *2*, продвигая лобовые части катушки, втягивает все ее витки в пазы с торца статора. Одновременно с проводниками в пазы втягиваются пазовые крышки, заранее заготовленные и помещенные в контейнер станка. Направляющими при втягивании катушек служат штыри *1*. Последовательность выполнения этой операции на станке показана на рис. 72.

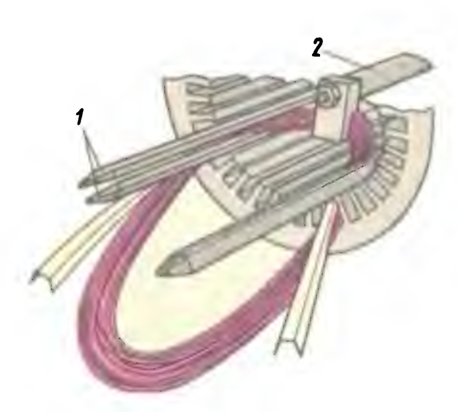


Рис. 71. Упрощенная схема втягивания катушек в пазы статора

Приспособление *1* вставляют (позиция *I*) в штыревую оправку *2* и катушки переводят из приспособления в щели между штырями оправки (позиция *II*). В эту же оправку устанавливают пазовые крышки *3*, после чего положение

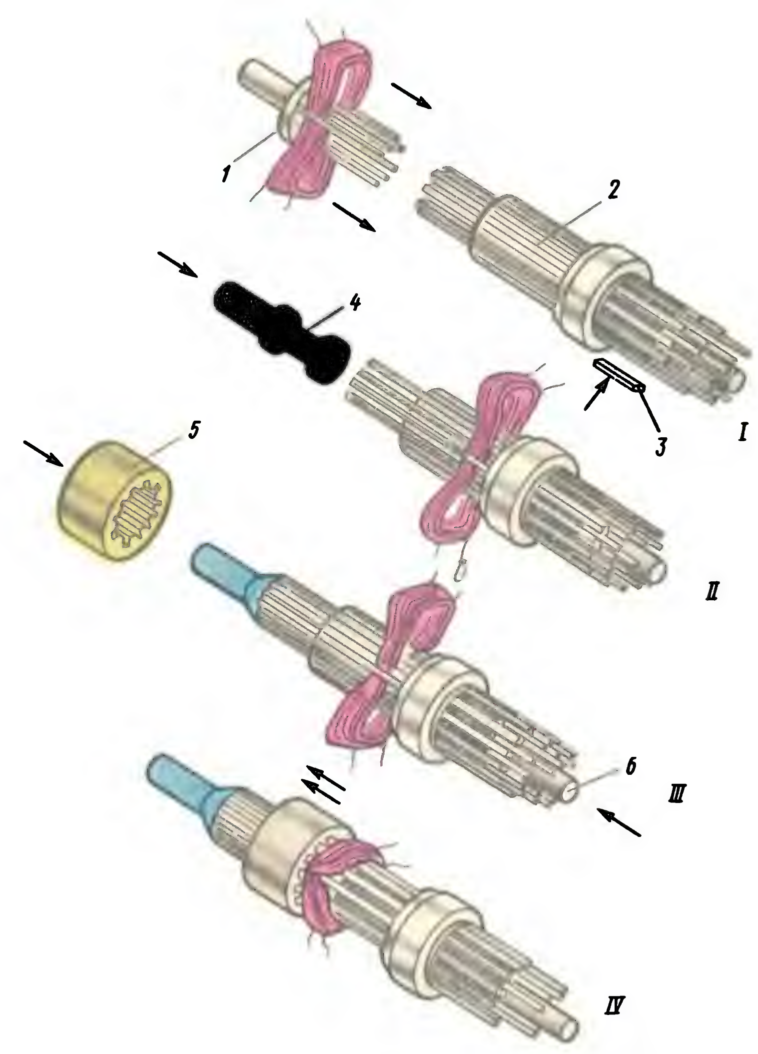


Рис. 72. Последовательность операций (*I—IV*) при втягивании катушек в пазы

свободных концов штырей оправки фиксируют стабилизатором *4*. Продольные выступы на его поверхности одновременно служат направляющими для сердечника статора *5*, который надевается на стабилизатор (позиция *III*). Внутри оправки находится толкатель *6*, который при своем движении вдоль сердечника статора захватывает лобовые части обмотки и втягивает катушки в пазы. Одновременно с витками катушек толкатель продвигает и пазовые крышки, заклинивая пазы (позиция *IV*).

После втягивания первых катушечных групп нельзя сразу же

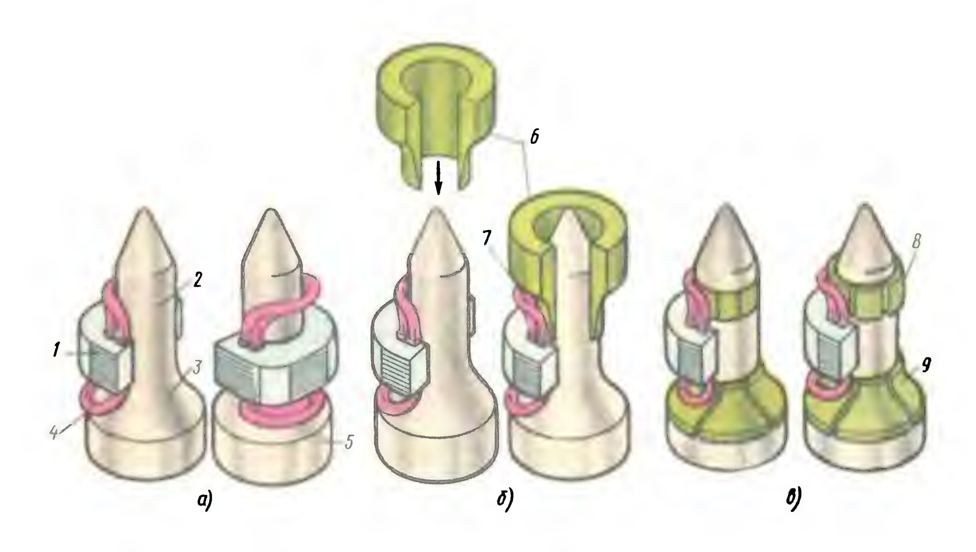


Рис. 73. Розжим лобовых частей обмотки статора:
а — с помощью одной конусной оправки, *б* — с помощью двух оправок, *в* — с помощью оправки с радиально расходящимися сегментами

втягивать другие, так как лобовые части катушек первых групп еще не заняли своего окончательного положения на торцах статора, а проводники не опустились на дно пазов и будут мешать втягиванию следующих. Поэтому перед втягиванием последующих катушечных групп необходим розжим лобовых частей уже находящихся в пазах катушек. В небольших по размеру статорах для этого не требуется больших усилий. Розжим производят с помощью оправки (рис. 73, *а*). Статор *1* надевают на цилиндрическую часть оправки *2* и прижимают к ее конической части *3*. Лобовые части обмотки *4* равномерно разжимаются и проводники осаживаются на дно пазов. После этого сердечник статора снимают и повторяют операцию, надевая его на оправку со стороны другой лобовой части *5*.

Для ускорения работ в ряде станков используют две конические оправки. Вторая оправка *6* надевается на цилиндрическую часть первой (рис. 73, *б*) после того, как разжата одна лобовая часть обмотки. Насаживая ее до упора, разжимают лобовые части *7* обмотки с другой стороны статора, не снимая его с оправки, что ускоряет выполнение этой операции.

Обмотка более крупных статоров наматывается из проводов большого сечения и имеет большую жесткость. Для розжима ее лобовых частей нужны большие усилия. Лобовые части таких обмоток разжимают с помощью оправки с радиально расходящимися сегментами *8* и *9*.

Окончив втягивание всех катушек обмотки, ее лобовые части формуют, соединяют схему и припаивают выводные концы.

§ 27. ФОРМОВКА И БАНДАЖИРОВАНИЕ ЛОБОВЫХ ЧАСТЕЙ ОБМОТКИ

После того как обмотка уложена в пазы, соединена схема и припаяны выводные концы, ее лобовые части окончательно формуют (калибруют) перед пропиткой. Формовка на этой стадии процесса намотки статоров необходима для того, чтобы лобовые части приняли заданные в чертеже размеры, форму и положение относительно торцов статора. Формовка производится на станках типа ФС. В них лобовые части обмотки механически обжимаются до нужных размеров. Требуемый внешний и внутренний диаметр лобовых частей устанавливается с помощью раздвижных сегментов и конуса. Торцовая поверхность выравнивается и обжимается кольцами, которые, двигаясь вдоль оси статора, опрессовывают лобовые части до размеров, заданных в чертеже.

Положение и размеры лобовых частей, полученные после их формования, не должны изменяться. Для этой цели лобовые части бандажируют — плотно увязывают нитью из стекловолокна или из синтетических материалов. Ручное бандажирование — трудоемкая операция, так как необходимо стянуть нитью все проводники в лобовых частях катушек с обоих торцов статора.

Бандажировочные станки работают по принципу затягивания петель (рис. 74). Последовательные положения бандажировочной иглы и петлителя станка обозначены на рисунке цифрами *I—VI*. Между торцом статора *1* и проводами лобовых частей

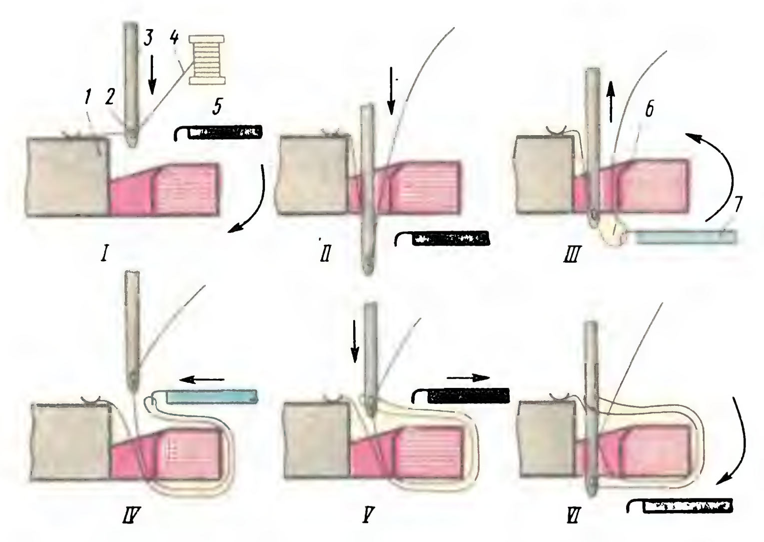


Рис. 74. Схема образования петель при бандажировании лобовых частей обмотки статора на станках

катушек *5* проходит игла *3*, в ушко *2* которой вдета бандажировочная нить *4* (*I*). Игла двигается возвратно-поступательно. При прямом ходе она втягивает нить между торцом статора и лобовой частью (*II*). При обратном ходе (*III*) иглы нить образует петлю *6*, которую зацепляет крючок петлителя *7*. Петлитель вытягивает нить за пределы лобовых частей и подает ее к игле (*IV*). Во время второго хода (*V*) игла проходит сквозь петлю и утягивает ее (*VI*). При возвратном движении иглы снова образуется петля, которую захватывает петлитель, и т. п. Описанный способ бандажирования требует сложного хода петлителя вокруг лобовой части.

Конструкция упрощается при использовании радиусной изогнутой по окружности иглы, которая выносит петлю за пределы лобовых частей. Петлитель, захватывая нить, поднимет петлю вверх на траекторию движения иглы. При очередном повороте игла проходит сквозь петлю и затягивает виток бандажа. По такому принципу работают бандажировочные станки типа БС.

Петли бандажа протягиваются в каждый из просветов между статором и лобовыми частями, т. е. против каждого зубца статора. Программное устройство станка поворачивает статор на соответствующий угол после затягивания каждого витка так, чтобы против иглы располагался зубец статора. Для того чтобы первые петли бандажа не ослабли после окончания бандажирования, в первые просветы укладывают по нескольку петель. Статор в это время остается неподвижным.

После окончания всех обмоточных работ статор с уложенной в пазы и закрепленной обмоткой передается на испытательный стенд для контроля правильности выполненной работы.

§ 28. КОМПЛЕКСНАЯ МЕХАНИЗАЦИЯ НАМОТКИ СТАТОРОВ

Выполнение обмоточно-изолировочных работ на отдельных станках не дает возможности механизировать все операции изготовления и укладки обмотки как при совмещенном способе, так и при способе раздельной намотки. Не механизированными остаются все операции, связанные с переносом и установкой сердечников статоров на отдельные станки, при раздельном методе вручную снимаются витки с шаблона на приспособление, которое также вручную переносится на станок для втягивания, и т. п. Если даже для переноса используются различные подъемные и транспортные устройства, все равно на это уходит много времени и требуется обязательное участие рабочего.

На заводах с массовым выпуском однотипных электродвигателей устанавливают агрегатные станки, в которых совмещены функции и рабочие органы намоточных и втягивающих станков.

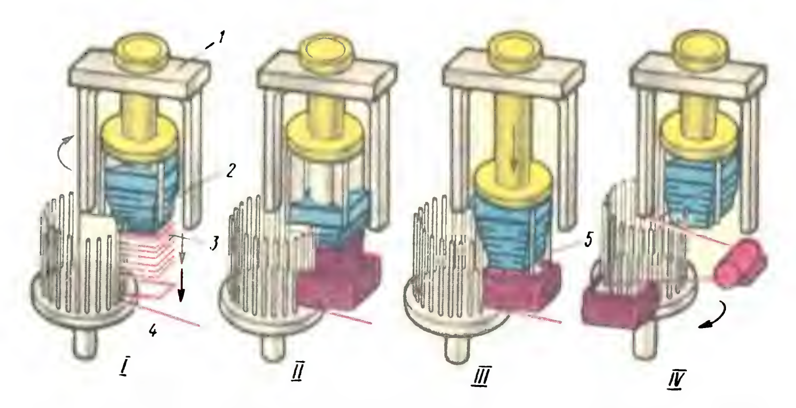


Рис. 75. Процесс намотки катушечной группы на конический шаблон с автоматизированным переносом витков на приспособление:
I — IV — последовательные стадии намотки

Для механизации процесса переноса витков с шаблона на приспособление применяются станки, в которых витки переносятся с шаблона на приспособление автоматически во время их намотки (рис. 75). Вращающееся вокруг шаблона *2* мотовило *1* наматывает витки на его коническую поверхность. Под действием натяжения провода витки *3* соскальзывают с сужающейся части шаблона. Следующие намотанные витки проталкивают первые еще дальше и они опускаются на штыри приспособления *4* (позиция *I*). После намотки первой катушки шаблон опускается на одну ступень (позиция *II*) и таким же образом наматывается следующая катушка, витки которой также опускаются в приспособление и занимают место снаружи витков первой катушки. После намотки всей катушечной группы толкатели *5* сдвигают оставшиеся на шаблоне последние витки и поджимают все опущенные ранее на штырях приспособления (позиция *III*). Шаблон возвращается в исходное положение для намотки следующих катушечных групп (позиция *IV*), а приспособление поворачивается на определенный угол, чтобы витки катушек следующих групп заняли на приспособлении нужное для втягивания место.

В некоторых станках применяют цилиндрические шаблоны, в которых витки сдвигаются с шаблона в приспособление толкателями. Толкатели приводятся в движение кулачковым механизмом, связанным с вращающимся мотовилом. Сила стягивания витков с шаблона с помощью толкателей стабильна и не зависит от натяжения и коэффициента трения провода о поверхность, как в конических шаблонах.

Намотка статоров на агрегатных станках. Рассмотрим последовательность намотки статоров (рис. 76) на агрегатных станках типа АНвС. Станки рассчитаны на намотку статоров, все катушечные группы обмотки которых могут быть втянуты

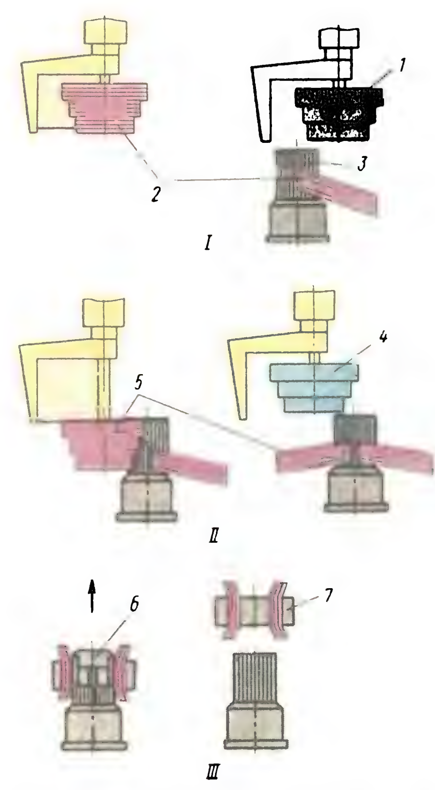


Рис. 76. Схема намотки статоров на агрегатных станках:

I—III — операции, выполняемые на различных позициях

одновременно, и поэтому не требуют промежуточного розжима лобовых частей. На вращающемся столе станка располагаются три штыревые оправки для втягивания катушек. Стол при повороте устанавливает каждую оправку в трех разных позициях. В начале работы на шаблон *1* наматываются витки *2* половины катушечных групп обмотки. Одновременно с намоткой они переносятся на штыревую оправку *3*, находящуюся на позиции *I*. После этого стол поворачивается и переносит оправку на позицию *II*, а на ее место приходит вторая оправка, на которую опять переносятся витки первой половины катушечных групп. Первая оправка устанавливается под другим шаблоном *4*. На него наматываются и переносятся на оправку витки второй половины катушечных групп обмотки *5*. Одновременно кассеты механизма втягивания, установленного на третьей позиции станка, заполняются пазовыми крышками. Стол поворачивается, перемещая оправку на третью позицию — позицию втягивания. Штыри оправки закрепляются фиксатором, подается сердечник статора *6* и происходит втягивание всей обмотки. Статор *7* с обмоткой снимается с оправки. В это время на оправку, находящуюся на второй позиции, набираются витки второй половины обмотки, а на оправку, находящуюся на первой позиции, — витки первой половины катушечных групп. Стол поворачивается через промежутки времени, достаточные для выполнения операций на каждой из позиций.

Производительность станка 250—300 тыс. статоров/г. Однако переналадка его для намотки статоров другого диаметра и с другой обмоткой очень сложна. Поэтому станки применяют лишь на заводах с массовым выпуском однотипных электрических двигателей.

Намотка статоров на автоматических линиях. Помимо агрегатных станков почти полная механизация намотки статоров достигается на автоматических линиях. Автоматическая линия

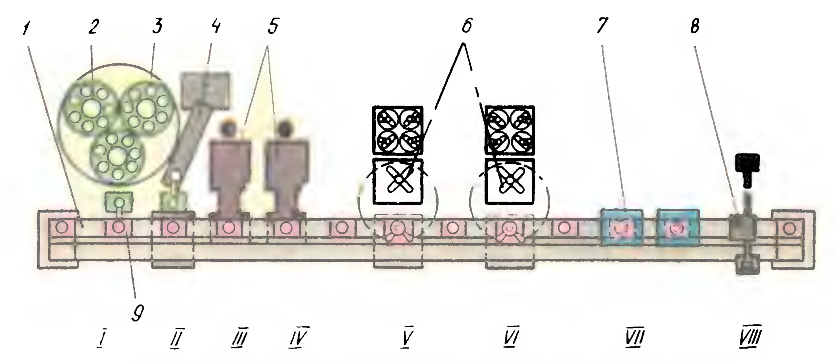


Рис. 77. Схема автоматической линии намотки статоров

состоит из ряда станков, включающих станки для изолирования пазов, намотки и втягивания катушек, формования и бандажирования лобовых частей обмоток.

Рассмотрим последовательность операций на простейшей автоматической линии (рис. 77). Все оборудование сгруппировано вдоль конвейера *1*. Сердечники статоров *3* загружаются в кассету *2*. На позиции *I* конвейера переносное устройство устанавливает очередной сердечник на спутник *9*, который движется вместе с сердечником по конвейеру. Движение спутника прерывистое. Во время его остановки на позиции *II* контрольное устройство контролирует точность изготовления сердечника: его длину, размеры шлица пазов и т. д. При обнаружении брака манипулятор *4* снимает сердечник с конвейера и переносит его в контейнер брака. Далее на конвейере установлены два пазоизолировочных станка *5*, каждый из которых рассчитан на изолирование пазов определенной формы. Спутник с сердечником статора останавливается на позиции *III* или *IV* в зависимости от формы пазов статора. Пазоизолировочные станки устанавливают пазовую изоляцию — короба в пазы сердечника, после чего спутник подает его на позицию *V* или *VI*. Здесь работают станки *6* для втягивания обмотки. На них производится намотка витков на шаблон с автоматическим переносом их на штыревую оправку и втягивание обмотки с одновременным заклиниванием пазов. Позиция *VI* — резервная, так как станок на позиции *V* из-за необходимости частой заправки обмоточного провода может не успеть выполнить свои операции, не нарушая ритмичности движения конвейера. На позиции *VII* механизм *7* производит розжим лобовых частей и в конце — с позиции *VIII* сердечник с уложенной обмоткой снимается краном *8* и передается для последующих операций. Спутник возвращается на исходную позицию *I*.

На такой линии втягивание обмотки производится только один раз. Поэтому вся обмотка может быть уложена только в том случае, если все ее катушечные группы допускают одновременное втягивание в пазы. В более сложных обмотках произ-

водится втягивание одного яруса обмотки. Для выполнения оставшейся части обмотки оборудование автоматической линии усложняется, добавляются новые станки и т. п.

Автоматические линии рассчитываются на определенные размеры статоров и схему их обмотки. Их переналадка очень сложна и требует много времени, а часто и замены отдельных станков, поэтому, как правило, не производится.

Намотка статоров на многофукциональных станках. Обмотка статоров трехфазных машин, имеющих большие габариты, не может быть выполнена одновременным втягиванием всех катушечных групп. Лобовые части одно-двухслойной и двухслойной концентрической обмоток располагаются в несколько ярусов и втягивание катушечных групп каждого из них производится последовательно. При этом обязательным является осадка проводов на дно пазов и розжим лобовых частей катушек, уложенных ранее. Это требует переноса и попеременной установки сердечников статоров на разных станках. Иногда сердечник приходится несколько раз устанавливать на один и тот же станок, например, для розжима лобовых частей после втягивания каждого яруса обмотки. Установка для таких статоров автоматической линии нецелесообразна, так как в ней необходимы либо несколько однотипных станков, которые не будут полностью загружены, либо организация сложного движения сердечников статоров по конвейерам. И в том и в другом случае при неполадке одного из звеньев автоматической линии неизбежен простой всех остальных станков.

Для механизации намотки статоров больших размеров, требующих неоднократного втягивания катушечных групп обмотки, используют многофункциональные станки. В них статор устанавливается и закрепляется только один раз. Поворотный стол перемещает сердечник на несколько позиций станка поочередно. На каждой из них различные механизмы производят те или иные операции: изолирование пазов, намотку и втягивание катушечных групп, заклинивание пазов, осадку проводов на дно пазов и розжим лобовых частей, а при намотке двухслойных обмоток также и установку прокладок между слоями. Часть этих операций в зависимости от сложности обмотки может быть повторена несколько раз.

Конструкция многофункциональных станков значительно сложнее, чем станков, выполняющих отдельные операции. Работа на них требует высокой квалификации операторов и резко отличается от работы обмотчиков, укладывающих обмотку вручную.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Укладку каких обмоток можно механизировать?

2. Расскажите, как работает станок для изолирования пазов статора.

3. Расскажите, как двигается головка проводоводителя при намотке обмотки совмещенным методом.

4. Зачем устанавливают шаблоны или крючья на торцы сердечника статора при намотке совмещенным методом?

5. Как работает станок для заклинивания пазов?

6. Как производится намотка статоров раздельным методом?

7. Как работает станок с автоматическим переносом витков на штыревую оправку?

8. Зачем нужно формование и бандажирование лобовых частей обмоток из круглого провода и на каких станках ее производят?

9. Какие операции производятся на каждой из позиций автоматической линии, изображенной на рис. 77?

ГЛАВА VII

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И УКЛАДКИ ОБМОТОК СТАТОРОВ ИЗ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ПРОВОДА

§ 29. ИЗГОТОВЛЕНИЕ КАТУШЕК ИЗ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ПРОВОДА

В статорах машин переменного тока мощностью более 100 кВт и в машинах с номинальным напряжением выше 660 В обмотка из круглого провода не применима. В таких машинах обмотка статора выполняется из прямоугольного обмоточного провода. Прямоугольные провода должны плотно прилегать один к другому по всей длине витка и занимать в пазу заранее определенное для каждого из них место. Поэтому обмотку из прямоугольных проводов укладывают только в пазы с параллельными стенками (см. рис. 13, 14). Катушкам еще до укладки в пазы придают окончательную форму с нужными изгибами в лобовых частях, поэтому процесс изготовления катушек обмотки из прямоугольного провода более сложен, чем из круглого провода. Кроме того, на катушки, которые укладывают в открытые пазы (см. рис. 14), в процессе их изготовления накладывают корпусную изоляцию.

Каждую катушку из прямоугольного провода наматывают на шаблоне, конфигурация которого напоминает «лодочку» (рис. 78). Такая форма дает возможность получить заданные радиусы изгибов витков катушек и длину лобовых частей верхнего и нижнего слоев обмотки. Размеры желоба шаблона точно соответствуют ширине катушки без корпусной изоляции. Другие размеры шаблона — длина прямолинейной части, радиусы закруглений головок, длина и ширина всего шаблона —

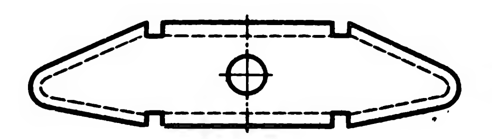



Рис. 78. Шаблон типа «лодочка»

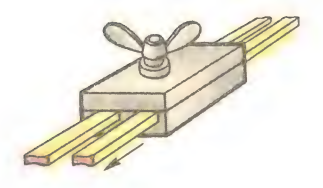


Рис. 79. «Глазок» для выравнивания провода

определяются размерами сердечника статора и обмотки и зависят от напряжения машины. В пазах статора прямоугольные проводники располагаются плашмя, широкой стороной параллельно дну паза. Так же они должны быть расположены и при намотке на шаблоне. Какие-либо перекосы или скручивание проводов недопустимы. Поэтому во время намотки между бухтой, с которой сматывается провод, и шаблоном помимо натяжного приспособления устанавливают «глазок» (рис. 79) — так называют две текстолитовые планки с углублениями, вырезанными точно по размеру провода. Провод, проходя через «глазок», выравнивается и ровно ложится в желобок шаблона. Во время намотки обмотчик контролирует правильность положения проводников в шаблоне и время от времени уплотняет уложенные витки ударами молотка через текстолитовую прокладку. После намотки нужного числа витков заготовка катушки — лодочка — скрепляется лентой в нескольких местах и снимается с шаблона. После этого лодочка по всему периметру плотно обертывается лавсановой лентой толщиной 0,12 мм или стеклолентой той же толщины, которая наматывается вразбежку на прямолинейные — пазовые части лодочки и впритык или вполнахлеста на лобовые части.

После намотки проводники еще неплотно прилегают друг к другу и могут иметь незначительные искривления. Поэтому пазовые части лодочек обязательно опрессовывают, предварительно пропитав в изоляционном лаке и подсушив после пропитки. Лодочки помещают в пресс и разогревают пресс-формы, вначале не создавая давления. При нагреве лак размягчается и заполняет промежутки между проводниками. Затем создают давление и увеличивают температуру. Лодочки опрессовываются, их проводники плотно прижимаются друг к другу. После определенной выдержки, во время которой лак затвердевает, температуру снижают и снимают давление. Когда лодочки после остывания вынимают из пресса, их пазовые части остаются прямыми и жесткими, так как затвердевший лак прочно скрепляет проводники между собой в том положении, какое им было придано в прессе. Режим опрессовки (давление, температура, продолжительность выдержки при определенной температуре) указывается в технологической карте и должен строго соблюдаться, иначе изоляция катушки получится некачественной.

Далее лодочка должна быть растянута так, чтобы расстоя-

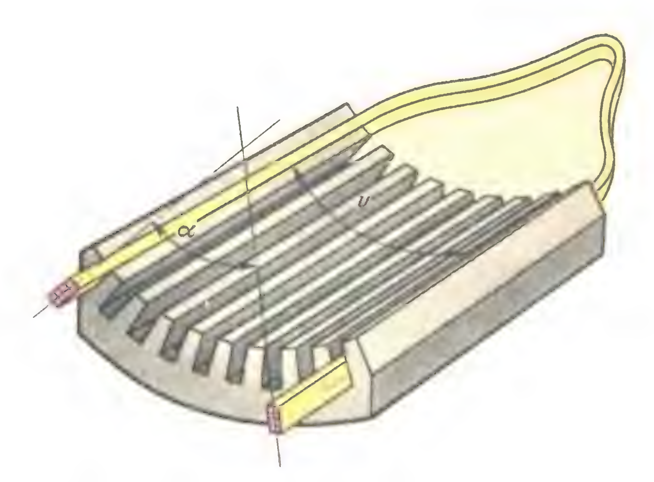


Рис. 80. Положение сторон катушек в пазах статора

ние между ее сторонами равнялось расстоянию между сторонами катушки, уложенной в пазы, т. е. шагу обмотки *y*, а угол α между боковыми гранями сторон — углу между осями пазов, в которых должны находиться стороны катушки (рис. 80). Принципиальная схема работы растяжного станка приведена на рис. 81. Прямолинейные части лодочки *1* и *2* устанавливаются в зажимы рычагов *3* и *4*, находящиеся в первоначальном положении *I*. Рычаги плотно прикреплены к зубчатым секторам *5* и *9*, которые системой сменных шестерен *6* и *8* связаны с подвижной рейкой *7*, имеющей двустороннюю зубчатость. При движении зубчатой рейки вниз шестерни и сцепленные с ними зубчатые секторы поворачиваются, одновременно поворачивая рычаги вокруг осей O_1 и O_2 на заранее определенный угол α (положение *II*). Лодочка растягивается. Угол α между боковыми сторонами катушки может регулироваться длиной хода зубчатой рейки и сменой набора шестерен. Расстояние между сторонами растянутой катушки регулируется длиной рычагов.

Механизм растяжки лодочек устанавливается на растяжном полуавтоматическом станке (рис. 82). Станок приводится в движение сжатым воздухом. Стороны лодочки *3* крепятся пневматическими зажимами к рычагам *2* и *4*. Головки лодочки закрепляются также пневматическими зажимами передней *1* и задней *5* подвижных бабок, что предохраняет головки от деформации во время растяжки. Зубчатая рейка, поворачивающая рычаги, приводится в движение также с помощью пневматического привода. При этом она поворачивает шестерни и находящиеся в зацеплении с ними зубчатые секторы с рычагами на требуемый угол. По мере растяжки катушки передняя и задняя бабки с зажатыми в них головками катушки сходятся по направлению к середине станка, удерживая головки в первоначальном положении.

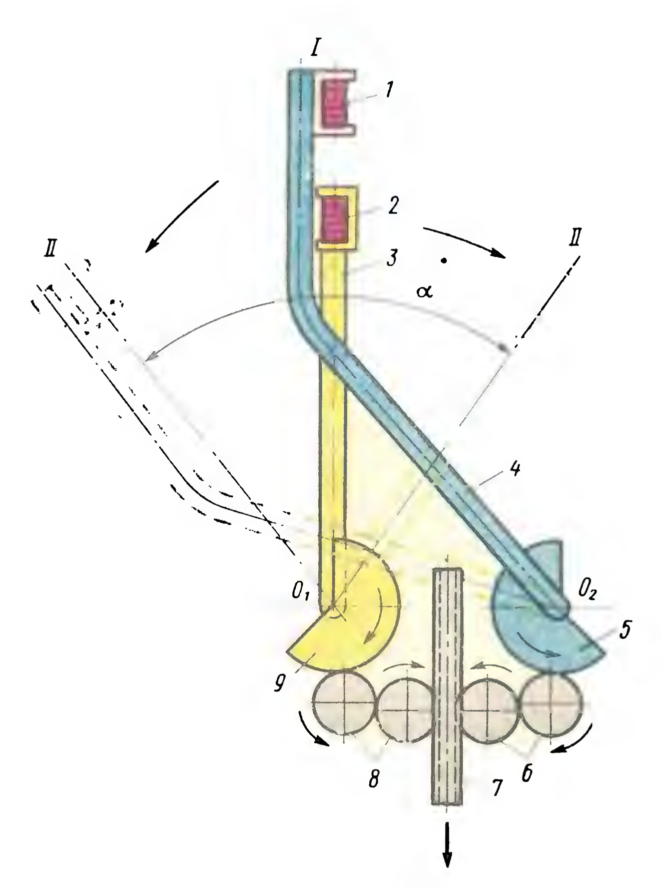


Рис. 81. Принципиальная схема работы растяжного станка

Следующей операцией изготовления катушек является рихтовка их лобовых частей. Окончательная форма с нужными изгибами лобовых частей придается катушкам на макете, который называют рихтовочным (рис. 83). Пазовые части катушек устанавливают в желобки макета соответствующих размеров, а лобовые части отжимают, осаживают ударами деревянного молотка через прокладку до предназначенного для них положения на макете. Катушки каждого типоразмера машин имеют строго определенные размеры прямолинейных частей, изгиб и длину лобовых частей. Поэтому для каждого типоразмера должны быть свои формовочные макеты. Чтобы уменьшить их количество, макеты делают с раздвижными головками. Это позволяет рихтовать на одном и том же макете катушки, имеющие одинаковые лобовые части, но разную длину пазовых частей.

Катушки, которые укладывают в полуоткрытые пазы (см. рис. 13), не изолируют, так как изолированную катушку нельзя пропустить через шлиц полуоткрытого паза. Их наматывают та-

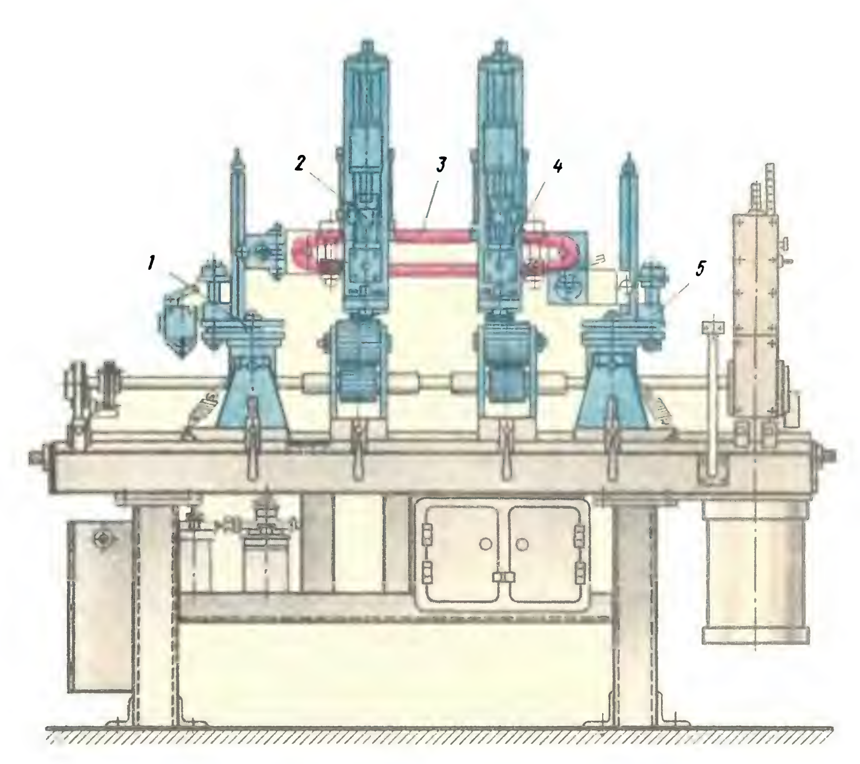


Рис. 82. Станок для растяжки катушек статора

ким образом, чтобы перед укладкой каждую катушку можно было разделить по ширине на две части — две полукатушки. Пазовая изоляция обмотки с подразделенными катушками имеет такую же конструкцию, как и в машинах с обмоткой из круглого провода, т. е. изоляция не накладывается на катушку, а устанавливается в паз в виде изоляционного короба до укладки обмотки. Полукатушки располагаются в пазах машины одна рядом с другой. Стороны каждой пары полукатушек должны плотно прилегать друг к другу и в пазовых, и в лобовых частях. Поэтому лодочки наматывают парами сразу двумя проводами, укладывая их в шаблон рядом на одной высоте. После намотки лодочки разделяют, проводники каждой из них скрепляют лавсановой лентой вразбежку и опрессовывают, как было описано выше. Растяжку лодочек и рихтовку полукатушек на макете производят не по одной, а парами так, как они располагаются в машине. После изготовления каждую пару полукатушек скрепляют между собой и передают на укладку обмотки.

Конструкция витковой изоляции обмоток из прямоугольного провода зависит от мощности и напряжения машины. В машинах общего назначения мощностью до 200—300 кВт на напряжение до 660 В дополнительную изоляцию между витками не

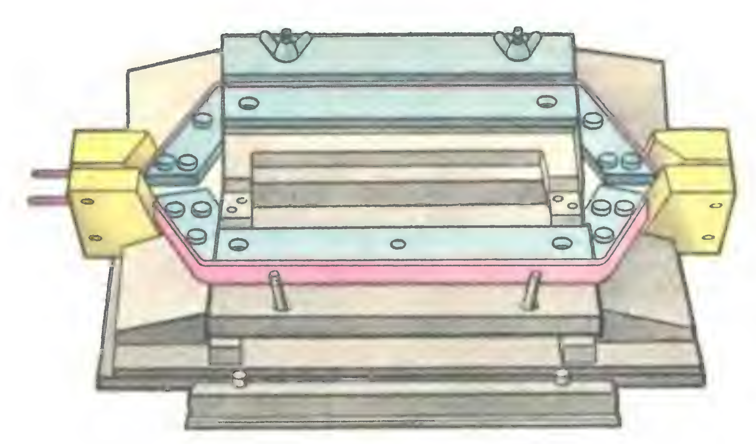


Рис. 83. Рихтовочный макет

ставят. Ее роль выполняет изоляция обмоточного провода. В низковольтных машинах специального исполнения витковую изоляцию обычно выполняют в виде прокладок между витками в пазовых и лобовых частях катушек. Прокладки шириной, равной ширине провода, нарезают из гибкого миканита или стекломиканита и устанавливают во время намотки лодочек под каждый виток. После того как лодочка снята с шаблона, перед опрессовкой необходимо тщательно проконтролировать положение прокладок между витками.

В высоковольтных машинах для усиления изоляции между витками накладывают дополнительный слой непрерывной изоляции на обмоточный провод, из которого наматывается катушка. Непрерывную дополнительную изоляцию накладывают одновременно с намоткой заготовок катушек на шаблон. Для этой цели используют механический обмотчик (см. § 7), который устанавливают между бухтой с обмоточным проводом и намоточным шаблоном, и на шаблон наматывают провод с уже наложенной витковой изоляцией. Чтобы скорость прохождения провода через механический обмотчик была постоянной, шаблоны типа «лодочки» заменяют на круговые, в которых заготовка катушки наматывается в виде кольца. При равномерном вращении такого шаблона скорость сматывания провода с барабана и движение его через головку обмотчика остаются постоянными. Кинематическая схема станка ШЛМ для намотки заготовок катушек на круговой шаблон с одновременным наложением непрерывной витковой изоляции на провод показана на рис. 84. Станок работает следующим образом. Провод *2* бухты *1* пропускается через ролики *3*, натяжное и направляющее устройство, полую ось шпинделя *4*, к диску механизма обмотчика *10* с роликами *6* и закрепляется на круговом шаблоне *7*. Двигатель станка *9* через ременную передачу *8* приводит во вращение системы зубчатых передач *5* и *11*, сцепленных с меха-

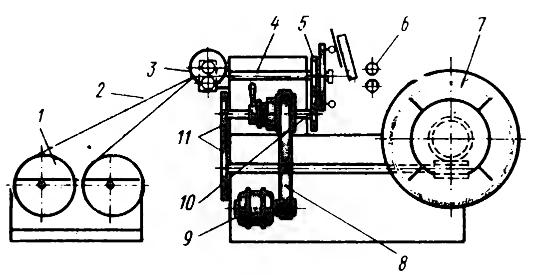


Рис. 84. Станок ШЛМ

ническим обмотчиком и с круговым шаблоном. Передаточные отношения подбирают так, чтобы обеспечить нужный нахлест витков изоляции (см. рис. 8).

Если катушка наматывается из нескольких параллельных проводов (двух или четырех), то провода сматываются одновременно с нескольких бухт (на рис. 84 показаны две бухты), а витковая изоляция наматывается обмотчиком сразу на все параллельные провода.

Кольцевые заготовки перед всеми дальнейшими операциями растягиваются для придания им формы лодочки. На рис. 85 показан растяжной станок для кольцевых заготовок. Заготовка надевается на шесть роликов, три из которых *1* расположены на неподвижной части стола *5*, а три других *2* — на подвижной каретке *3*, связанной с ходовым валом *6*. Приводной двигатель *7* вращает ходовой вал, каретка приходит в движение и надетая на ролики заготовка растягивается до тех пор, пока каретка, дойдя до концевого выключателя *4*, не выключит станок.

При изготовлении обмоток из проводов с большой площадью поперечного сечения растяжка круговых заготовок в лодочки может вызвать повреждение изоляции в местах изгиба из-за большой жесткости провода. Для таких обмоток применяют более сложные станки, в которых дополнительная изоляция наносится непосредственно при намотке лодочек. Угловая скорость вращения шаблона в таких станках в течение каждого поворота переменная. Ее изменение рассчитано таким образом, чтобы скорость движения провода через головку обмотчика все время оставалась постоянной, что обеспечивает наложение равномерного слоя дополнительной изоляции с заданным перекроем витков ленты.

Корпусная изоляция обмоток большинства высоковольтных машин непрерывная. Она накладывается из стекломикаленты или из слюдинитовых лент по всей длине катушки, причем на пазовые части приходится больше слоев, чем на лобовые. Ручная намотка корпусной изоляции очень трудоемка, поэтому процесс изолирования почти на всех заводах механизирован. Вручную изолируют только головки катушек, так как небольшие радиусы изгиба головок не позволяют получить на изолировочных станках надежную изоляцию этих участков катушек.

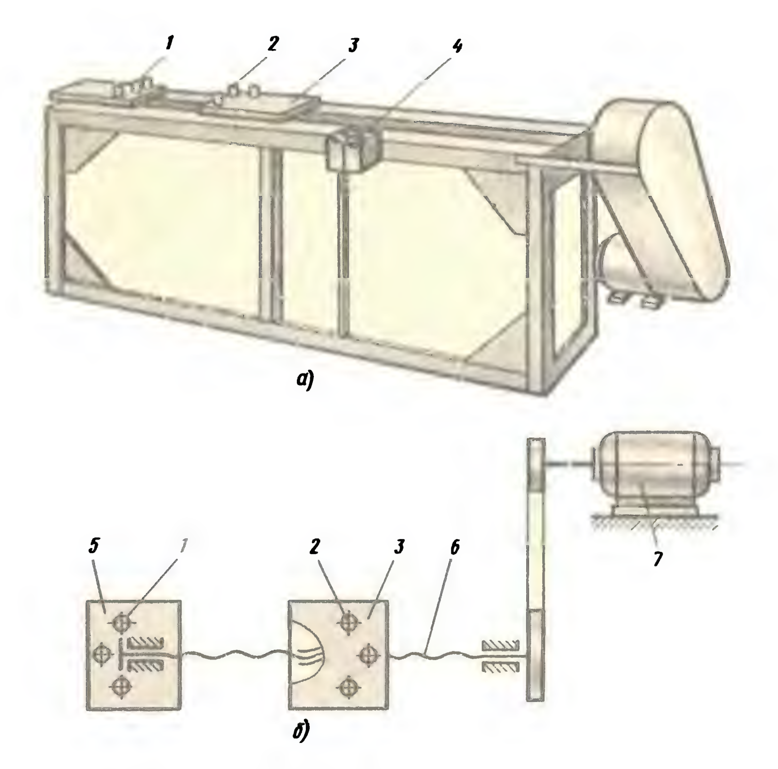


Рис. 85. Станок для растяжки круговых заготовок:
а — общий вид, *б* — кинематическая схема

Основной частью изолировочных станков является изолировочная головка, работа которой описана в § 7. Для изолирования катушек ширину разреза кольца головки (см. рис. 10) делают такой, чтобы в него проходила сторона катушки; на кольце укрепляют два или несколько роликов с изоляцией. Это позволяет за один проход нанести сразу несколько слоев изоляции. Скорость движения обмоточной головки относительно катушки устанавливают так, чтобы лента наносилась на катушку с перекроем вполнахлеста. Для работы станка безразлично, будет ли двигаться катушка относительно головки или головка вдоль стороны катушки. Существуют изолировочные станки, работающие и по тому и по другому принципу. В большинстве станков катушка неподвижна, а обмоточная головка перемещается.

На рис. 86 показана упрощенная кинематическая схема станка ЛШ-4. Катушка *2* обмотки закрепляется головками на каретке *5* в держатели *1* и *3*. При этом одна из ее пазовых сторон вводится в разрез кольца обмоточной головки *4* и устанавливается в ее центре. Двигатель *8* через редукторы *6* и *7* приводит в движение каретку и вращает обмоточную головку.

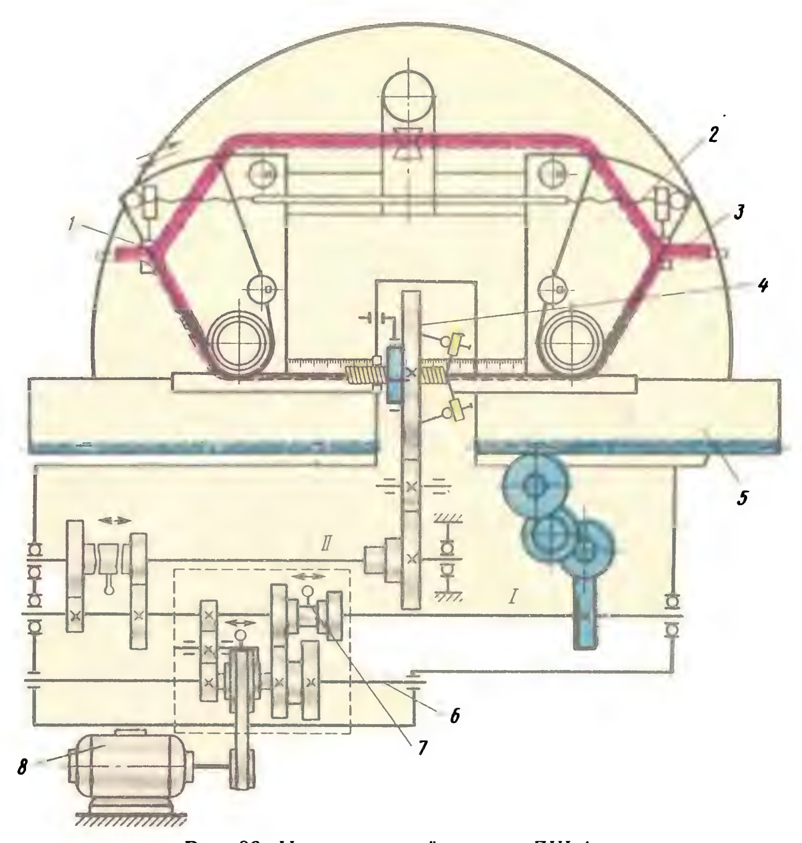


Рис. 86. Изолировочный станок ЛШ-4

Подбором сменных шестерен редукторов устанавливают скорость перемещения каретки, соответствующую половине ширины изоляционной ленты за один оборот головки. Когда каретка, двигаясь в одном направлении, доходит до положения, при котором в центре обмоточной головки оказывается начало лобовой части катушки, зажимы, удерживающие катушку, изменяют свое положение. Катушка поворачивается и через обмоточную головку проходит изогнутая лобовая часть. На нее также накладывается изоляция. Когда к обмоточной головке подходит головка катушки, станок останавливается. После этого меняют направление движения и следующие слои изоляции накладываются при движении каретки в другую сторону. Направление вращения обмоточной головки остается прежним. Головки катушек изолируют вручную, сняв катушку со станка.

После нанесения корпусной изоляции катушка направляется в пропиточное отделение цеха.

§ 30. УКЛАДКА ОБМОТОК В ПОЛУОТКРЫТЫЕ ПАЗЫ

Катушки обмотки из прямоугольного провода укладываются в открытые или полуоткрытые пазы с параллельными стенками (см. рис. 13, 14). Полуоткрытые пазы выполняют в низковольтных машинах мощностью более 100 кВт. Конструкция пазовой изоляции в них такая же, как при обмотках из круглого провода, т. е. изолируются не катушки, а пазы машины, в которые укладывают пазовые короба, состоящие из двух или трех слоев изоляционного материала.

После предварительного осмотра и подготовки статора к укладке обмотки в его пазы устанавливают комплект пазовых коробов и прокладок согласно чертежу обмотки.

Катушки поступают на обмоточный участок скомплектованными по две. Так же они должны лежать и в пазу машины. Обмотчик развязывает первую пару катушек, отделяет катушку, нижняя сторона которой находится снаружи, и располагает ее на внутренней поверхности статора вдоль пазов, в которых должны лежать ее стороны. После этого вкладывает нижнюю сторону первой катушки в паз. Чтобы не повредить изоляции, кромки шлица должны быть закрыты изогнутыми под углом изоляционными вкладками или выступающими из паза сторонами изоляционного короба. Верхняя сторона катушки также опускается в паз. После этого нижняя сторона осаживается на дно паза и сдвигается в сторону от шлица паза (рис. 87, *а*). Другая сторона катушки остается в верхней части паза. Так же как и в двухслойной всыпной обмотке, эта сторона катушки может быть размещена в пазу окончательно только на заключительной стадии укладки при закрывании замка. Поэтому в начале укладки верхние стороны замковых катушек помещают в пазы временно. Их можно вообще не опускать в пазы, но в этом случае они мешают укладке других катушек.

После того как первая катушка установлена, в паз опускают нижнюю сторону второй катушки из той же пары и осаживают

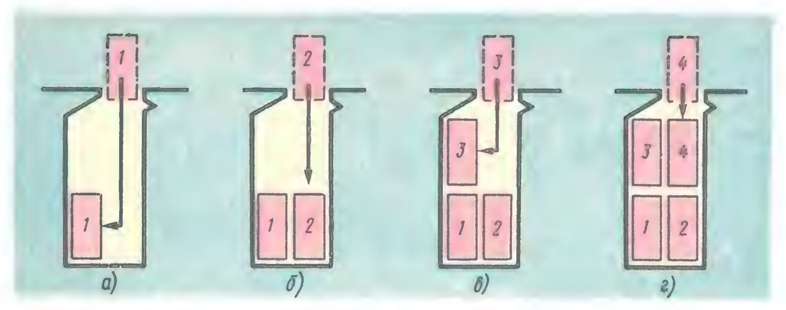


Рис. 87. Последовательность укладки подразделенных катушек в полуоткрытые пазы:

а—г — последовательность заполнения паза; *1, 2, 3, 4* — очередность укладки в пазы сторон катушек

ее на дно так, чтобы она плотно легла рядом со стороной первой катушки (рис. 87, *б*). Верхняя сторона второй катушки также помещается в паз временно. Лобовые части уложенных катушек выравнивают, чтобы они плотно соприкасались одна с другой на всем протяжении и располагались симметрично по обоим торцам статора. После этого развязывают следующую пару катушек и в том же порядке укладывают в пазы. Так продолжают до тех пор, пока не уложены все катушки первого шага, т. е. столько катушек, сколько пазовых делений в шаге обмотки.

Следующие за ними катушки должны быть уложены в пазы окончательно обеими сторонами. Поэтому перед укладкой очередной катушки, верхняя сторона которой помещается в уже наполовину заполненный паз, нижние стороны находящихся в ней катушек окончательно выравниваются; для этого по ним ударяют молотком через осадочную доску и на них устанавливают прокладку — изоляцию между слоями обмоток. Материал изоляции и его толщина указаны в чертеже, а ширина прокладки должна быть равна ширине свободной от корпусной изоляции части паза, чтобы между верхними и нижними сторонами катушек не оставалось неизолированного промежутка и в то же время прокладка не коробилась (коробление может произойти, если она будет чрезмерно широкой). После установки прокладки укладывают очередную катушку. Ее нижняя сторона, так же как и в первых катушках, осаживается на дно паза и сдвигается в сторону от шлица паза, а верхняя сторона одновременно сдвигается в ту же сторону, но в верхнем слое первого паза, как показано на рис. 87, *в*. Далее в те же пазы устанавливается следующая катушка из той же пары, что и предыдущая. Ее нижняя сторона занимает положение *2*, а верхняя — положение *4* (рис. 87, *г*).

Стороны катушек, лежащих в заполненных пазах, после выравнивания их лобовых частей уплотняют, выступающие из паза кромки изоляции подрезают фигурными ножами, края корпусной изоляции подворачивают в паз, на них сверху устанавливают прокладки, указанные в чертеже, и паз заклинивают. Таким же образом укладываются все остальные пары катушек до тех пор, пока не доходят до пазов, верхние стороны которых заняты сторонами катушек первого шага. С этого момента начинается заключительная операция укладки обмотки, связанная с подъемом шага.

Верхние стороны первых шагов катушек должны быть вынуты из пазов и приподняты над ними, чтобы можно было уложить нижние стороны последних катушек. При подъеме верхних сторон несколько деформируются лобовые части и особенно головки катушек, поэтому поднимать их нужно осторожно, плавно, без резких рывков. Поднятые стороны замковых катушек отгибают к центру статора и подвязывают к установленным внутри статора деревянным рейкам. В освобожденные таким образом пазы устанавливают нижние стороны последних

катушек, после чего поочередно опускают и укладывают в пазы поднятые стороны замковых катушек и последние пазы заклинивают.

§ 31. УКЛАДКА ОБМОТОК В ОТКРЫТЫЕ ПАЗЫ

Последовательность укладки катушек из прямоугольного провода в открытые пазы статора такая же, как и в полуоткрытые, но в каждом пазу размещаются не четыре, а только две стороны катушек: одна — в верхнем, другая — в нижнем слоях пазов.

Открытые пазы не изолируют, так как корпусная изоляция находится на катушках. В некоторых случаях она предохраняется тонкими коробами из изоляционного материала. На дно пазов устанавливают прокладки. В крупных машинах обмотки укладывают два обмотчика, находящихся с обоих торцов статора. Это позволяет опускать катушки в пазы равномерно по всей длине статора.

Вначале укладывают катушки первого шага. Обе стороны катушки вводят в пазы одновременно, после чего нижнюю сторону осаживают с помощью осадочной доски на дно паза, а верхнюю временно оставляют в верхней части паза. После укладки всех катушек первого шага последующие катушки устанавливают в пазы окончательно. На нижние стороны уложенных катушек в пазовой части помещают прокладки между слоями. Заполненные сторонами катушек пазы заклиниваются. Перед укладкой катушек последнего шага верхние стороны замковых катушек поднимают из пазов и укрепляют над ними. Эта операция затруднена из-за большой жесткости катушек, поэтому при ее выполнении от обмотчиков требуется особая аккуратность, так как чрезмерный или резкий изгиб лобовой части катушки может привести к нарушению изоляции. Лобовые части катушек увязываются между собой и крепятся к бандажным кольцам по мере укладки в пазы.

Укладка обмотки с компаундированной изоляцией имеет свои особенности. Изоляцию высоковольтных обмоток современных машин пропитывают либо битумными, либо эпоксидными компаундами. Битумные компаунды термопластичны, т. е. они размягчаются при нагреве и застывают при охлаждении. Эпоксидные компаунды термореактивны. Они затвердевают и после этого не размягчаются.

Непрерывная изоляция, пропитанная битумными компаундами, в холодном состоянии твердая и хрупкая. При нагреве она становится мягкой и пластичной. Поэтому катушки с пропитанной битумным компаундом изоляцией перед укладкой в пазы обязательно нагревают до температуры его размягчения. Для этого непосредственно у рабочего места, где производится укладка обмотки, размещают нагревательные печи — термостаты с температурой нагрева 120—130°С. В них загружают несколько

катушек, предназначенных к укладке. Разогретую катушку вынимают и укладывают в пазы, а на ее место помещают следующую. За короткое время, пока катушка еще не остыла, ее нужно уложить в пазы, заклинить, поставить на постоянное место ее лобовые части, отрихтовать и укрепить их, подвязав к бандажным кольцам. Остывшую катушку уже нельзя ни перемещать в пазах, ни изгибать ее лобовые части, так как изоляция может потрескаться.

Особая сложность возникает при подъеме шага и укладке замковых катушек. К этому моменту работы первые катушки уже остывают и их изоляция теряет гибкость. В то же время уложенные в статор катушки нельзя поместить в нагревательную печь. Замковые катушки разогревают, пропуская по ним однофазный ток от сварочного трансформатора или постоянный ток от преобразователя. В любом случае источник тока должен быть рассчитан на небольшое напряжение и большой ток. Соединяя последовательно несколько катушек, подбирают напряжение источника тока таким, чтобы плотность тока в проводниках катушек была 6—7 А/мм^2 (не выше 8 А/мм^2). В этом случае процесс нагрева катушек длится около 30—40 мин. Нагрев контролируется по температуре наружного слоя изоляции. Она должна быть 75—90°С. Температура внутренних слоев изоляции будет выше и компаунд размягчится, после чего можно отгибать верхние стороны замковых катушек и заканчивать укладку всей обмотки.

Изоляцию обмоток, пропитанную в эпоксидных компаундах, нельзя размягчать нагреванием. В сравнительно небольших машинах катушки такой обмотки укладывают в пазы до пропитки, а пропитывают уже после укладки, погружая в компаунд весь обмотанный статор. Технология укладки при этом такая же, как и обмоток с гильзовой изоляцией. В более крупных машинах катушки обмотки пропитывают эпоксидным компаундом до укладки в пазы и подсушивают, но не запекают. После подсыхания изоляции на поверхности катушек их укладывают в пазы машины, закрепляют пазовые и лобовые части и лишь после этого запекают в печи, так как эпоксидный компаунд затвердевает только при высокой температуре. В печь помещают весь статор.

§ 32. КРЕПЛЕНИЕ ОБМОТОК СТАТОРОВ ИЗ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ПРОВОДА

Заклинивание обмоток из прямоугольных проводов производится по мере укладки катушек в паз. Для полуоткрытых и открытых пазов (рис. 88) применяют клинья из стеклотекстолита, текстолита или буковые. Клинья имеют сточенные по краям грани, соответствующие выемкам в пазах. Ширина клина должна быть такой, чтобы он входил в паз без большого усилия, но



Рис. 88. Крепление обмоток из прямоугольного провода:
а — в открытом пазу, *б* — в полуоткрытом пазу

плотно, задевая кромками о боковые стенки паза. Под клин обязательно устанавливают прокладки, предохраняющие изоляцию катушек от возможного повреждения при забивании клина. Толщина прокладок под клин указывается в чертеже заполнения паза, однако обмотчику часто приходится ее несколько изменять, так как необходимо опытным путем подобрать толщину или количество прокладок для того, чтобы клин туго входил на свое место и плотно прижимал стороны катушек ко дну паза.

Клинья забивают с торцов статора молотком. Передняя нижняя кромка клина слегка скашивается, чтобы при своем движении он не сминал прокладку. Клинья обычно делают длиной не более 300 мм. Если статор машины имеет большую длину, то вставляют два клина с двух сторон, каждый из которых доходит до половины длины паза. Концы установленных клиньев должны выступать с обеих сторон статора на 5—10 мм, предохраняя прямолинейные части катушек в местах их выхода из пазов.

Статоры мощных машин длиной более 600—700 мм заклинивают несколькими клиньями, каждый из которых имеет длину 200—300 мм. Первыми устанавливают средние клинья, потом ближние от них поочередно к каждому торцу статора. Статоры больших машин имеют радиальные воздушные каналы, по которым циркулирует охлаждающий воздух. Чтобы избежать ненужных завихрений воздуха, участки клиньев, расположенные над каналами, делают со скошенными кромками. Скосы фрезеруют до установки клиньев в пазы, поэтому, располагая такие клинья по длине паза, необходимо следить, чтобы скошенные участки приходились над вентиляционными каналами.

В статорах большой длины составными делают не только клинья, но и прокладки под них, причем стыки прокладок не должны совпадать со стыками клиньев. Если при заклинивании длинных пазов с самого начала забивать клинья с нужным натягом, то пока клин дойдет до своего окончательного места, его кромки срежутся о стенки паза. Поэтому средние клинья закладывают в пазы сначала без прокладок и продвигают их к

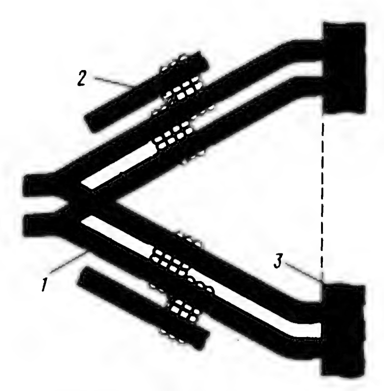


Рис. 89. Дистанционные прокладки, установленные в лобовых частях обмотки статора:

1 — лобовые части катушек, 2 — дистанционные прокладки, 3 — сталь магнитопровода статора

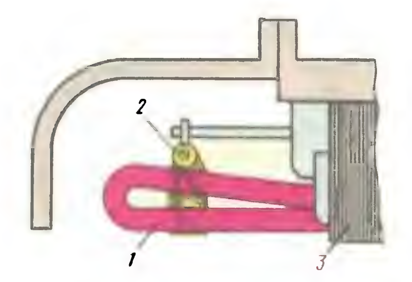


Рис. 90. Лобовые части обмотки статора, крепление бандажными кольцами:

1 — лобовые части катушек, 2 — бандажное кольцо, 3 — сталь магнитопровода статора

середине статора без натяга. Лишь на расстоянии, несколько большем, чем длина клина, в пазы под клин устанавливают прокладки, и последний участок клина забивают с нужным натягом.

В обмотках, выполненных из прямоугольного провода, лобовые части располагаются не вплотную друг к другу, как в обмотках из круглого провода, а с промежутками, через которые проходит охлаждающий воздух. Размер промежутков указывается в чертеже обмотки. Чтобы укрепить лобовые части и сделать все промежутки одинаковыми, между лобовыми частями катушек устанавливают дистанционные прокладки из твердого материала (текстолита, гетинакса или другого материала). Прокладки плотно привязываются к лобовым частям катушек в один или два ряда (рис. 89). Место установки дистанционных прокладок, их размер и количество витков шнура для увязки каждой из них указываются в технологической карте. Увязанные лобовые части образуют прочную в механическом отношении систему, а между лобовыми частями катушек остается свободное пространство для прохода охлаждающего воздуха.

В машинах с большим вылетом лобовых частей обмотки дополнительно крепятся к бандажным кольцам (рис. 90). Бандажные кольца сваривают из немагнитного материала и перед установкой изолируют. Изоляция бандажных колец рассчитывается на полное напряжение обмотки, так как к ним вплотную прижимаются лобовые части катушек.

В сравнительно небольших машинах бандажные кольца устанавливают без стоек, в машинах большой мощности — на стойках или кронштейнах, укрепленных к нажимным плитам статора.

§ 33. ИЗГОТОВЛЕНИЕ СТЕРЖНЕВЫХ ОБМОТОК СТАТОРОВ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

В двухслойной стержневой обмотке статора на каждую фазу приходится малое число витков. Поэтому стержневые обмотки применяют только в статорах машин больших размеров: турбогенераторах мощностью 25 мВт и более, мощных гидрогенераторах, синхронных компенсаторах и т. п. Обмотка таких машин имеет большую площадь поперечного сечения. Если стержни сделать из массивных проводников, то в них наведутся вихревые токи, электрические потери возрастут и обмотка перегреется С уменьшением сечения проводников вихревые токи уменьшаются. Поэтому стержни обмотки делают из большого числа параллельно соединенных изолированных друг от друга проводников (рис. 91) с площадью поперечного сечения не более 17—20 мм^2 каждый. Эти проводники называют элементарными. Чтобы токи в элементарных проводниках были одинаковые, нужно выровнять их индуктивные сопротивления. Индуктивное сопротивление проводника зависит от его положения в пазу машины. Чем ниже в пазу расположен проводник, тем больше его индуктивное сопротивление. Поэтому элементарные проводники стержней располагают не параллельно дну паза, а наклонно, и переплетают друг с другом так, чтобы каждый проводник, проходя по пазу, занимал попеременно все возможные положения по высоте паза и все проводники находились в одинаковых магнитных условиях. Такая перестановка проводников называется транспозицией.

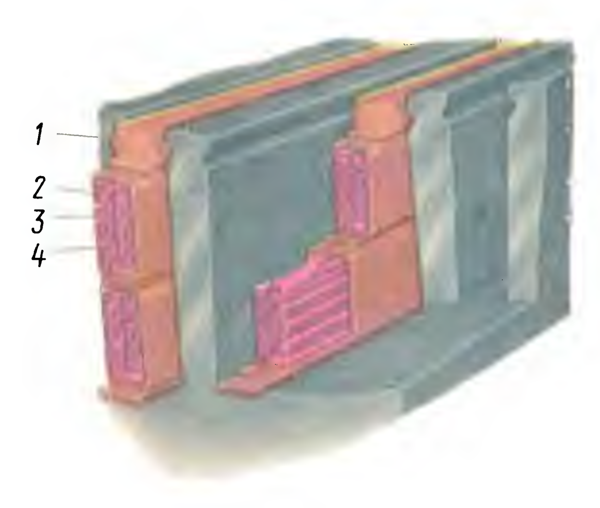


Рис. 91. Стержни обмотки в пазах статора машины переменного тока большой мощности:

1 — пазовый клин статора, *2* — корпусная изоляция стержней обмотки, *3* — сплошные проводники стержня, *4* — полые проводники стержня

Стержень обмотки статора без корпусной изоляции, состоящий из транспонированных проводников, показан на рис. 92. Один из элементарных проводников стержня на рисунке закрашен красным цветом. Проследим за его положением на разных участках по длине стержня (позиция «*а*»). В лобовой части стержня (участок *AB*) все элементарные проводники рас-

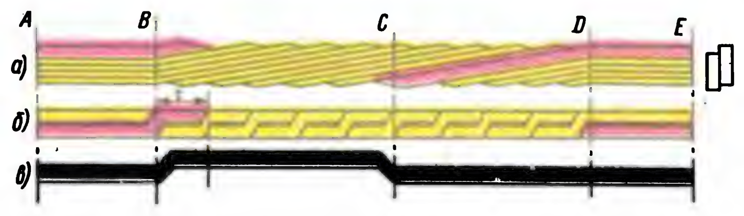


Рис. 92. Транспонированный стержень без корпусной изоляции

полагаются параллельно друг другу. Закрашенный проводник находится вверху, в ближнем к нам столбике стержня. В начале пазовой части стержня (сечение *B*) проводник изгибается и переходит в другой столбик стержня, как показано на позиции «*б*» рисунка, и постепенно опускается вниз стержня (участок *BC*). Через расстояние *t* на его место по высоте стержня поднимается элементарный проводник, лежащий в лобовой части, ниже закрашенного. В конце участка *BC* закрашенный красным проводник снова изгибается, как показано на полиции «*в*», и опять переходит в первый столбик. На участке *CD* он постепенно поднимается до своего первоначального положения. В другой лобовой части стержня все элементарные проводники опять располагаются параллельно друг другу (участок *DE*). Таким образом, элементарный проводник в пазовой части транспонированного стержня делает как бы один полный оборот вокруг оси стержня. Все остальные элементарные проводники переплетаются таким же образом. Эта система переплетения стержней называется транспозицией 360°. Элементарные проводники при ней занимают поочередно все возможные положения в пазу по высоте стержня в обоих столбиках. В зависимости от длины стержней применяют также транспозицию 180, 540 и 720°. В некоторых крупных турбогенераторах элементарные проводники транспонируют (переплетают) не только в пазовых, но и в лобовых частях стержней.

Для изготовления стержневых обмоток применяют провод ПСД, который поступает на завод в бухтах. Рихтовку и резку элементарных проводников нужной для изготовления стержней

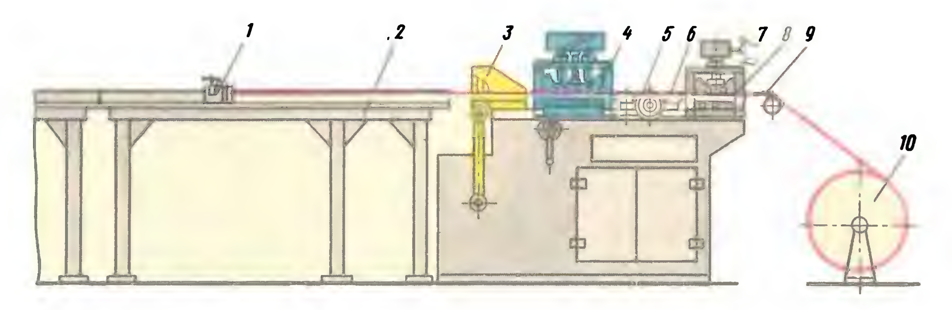


Рис. 93. Полуавтомат для резки, правки и рихтовки элементарных проводников стержневой обмотки

длины производят на полуавтоматических станках (рис. 93). Провод *9* сматывают с бухты *10*, установленной с торца станка. Конец провода заправляют между валками *4*, которые, вращаясь от приводного двигателя, подают провод вдоль поверхности приемного стола *2*. Перед валками провод пропускают через системы горизонтальных *8* и вертикальных *6* роликов, проходя через которые он выпрямляется. Взаимное положение роликов регулируют рукоятками *7* и *5* в зависимости от размера провода. На приемном столе установлен конечный выключатель *1*. Когда отрихтованный провод доходит до его упора, выключатель срабатывает и отключает приводной двигатель от валков. Движение провода прекращается. Одновременно приходит в действие отрезной механизм *3*, отрезающий проводник нужной длины. Далее процесс повторяется. На современных станках после отрезки проводника производится также зачистка его концов от изоляции. Применяемые на заводах, выпускающих турбо- и гидрогенераторы, станки типа РЗП обеспечивают подачу провода размером от $1{,}55 \times 5$ до 3×15 мм со скоростью до 25,2 м/мин на длину до 9 м с одновременной зачисткой выводных концов от изоляции.

Перед плетением элементарных проводников в стержень их выгибают на пневматическом штампе в местах их перехода из столбика в столбик (см. сечения *В* и *С* на рис. 92). Изгибы на различных проводниках должны быть смещены на расстояние шага плетения *t* друг от друга. Чтобы изогнуть одновременно весь пучок проводников, составляющих один полустержень, их собирают (рис. 94) в столбик *3*, торцы их упирают в гребенку *1*, длина уступов которой равна шагу плетения *t*, а высота — толщине элементарных проводников, и прижимают пуансоном *2*. Изогнутые проводники вынимают из штампа и выравнивают их торцы. Места изгибов проводников при этом сдвигаются один относительно другого на расстояние шага плетения.

Плетут отдельно каждую половину стержня — полустержень, в который входят все элементарные проводники, занимающие один столбик в лобовой части. Проводники скрепляют между собой скобой в середине полустержня и переплетают их от середины к его концам. Так же переплетают проводники второго полустержня. После того как оба полустержня переплетены, их

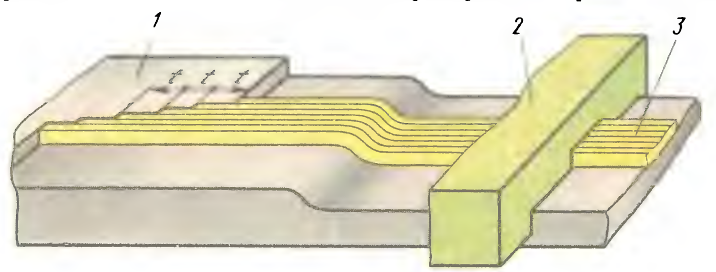


Рис. 94. Штамп для выгибания элементарных проводников

соединяют вместе, устанавливая между столбиками вертикальную изоляционную прокладку из миканита толщиной 0,5 мм. Места перехода элементарных проводников из столбика в столбик дополнительно изолируют, прокладывая под проводники тонкие миканитовые прокладки.

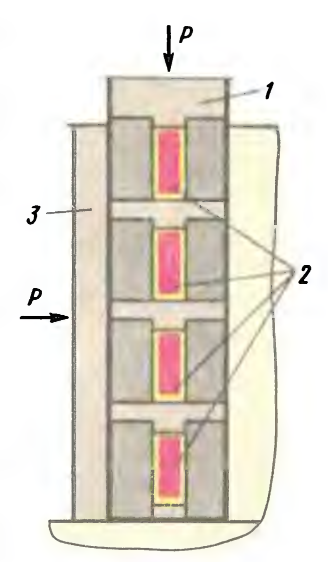


Рис. 95. Пресс для опрессовки стержней

Собранный плетеный стержень рихтуют, заполняют неровности, образовавшиеся в местах перехода проводников из одного столбика в другой полосками асбестовой бумаги, промазывают проводники клеящим лаком и опресовывают пазовую часть. Опрессовка производится на гидравлических прессах с подогревом. Для опрессовки длинных стержней обмотки турбогенераторов пресс составляют из нескольких блоков, число которых доходит до 10. В каждом блоке (рис. 95) смонтированы по два гидравлических цилиндра — вертикальный и горизонтальный. Давление от цилиндров передается на верхнюю *1* и боковые *3* планки пресс-формы. В пресс закладывают одновременно несколько стержней *2*. При опрессовке стержни нагревают, пропуская через нагревательные плиты пресс-форм пар, температура которого 120—130°С. После выдержки стержня под давлением в нагретом состоянии нагревательные плиты охлаждают, пропуская через них холодную воду, давление снимают и стержни вынимают из пресс-форм.

При плетении, сборке и опрессовке стержней изоляция отдельных элементарных проводников может повредиться, поэтому после опрессовки пазовой части проверяют ее сохранность. Для этого достаточно убедиться в отсутствии замыкания между каждой парой элементарных проводников с помощью контрольной лампы, источника питания на 220 В и щупов. Для ускорения проверки разработана установка, на стойки которой укладываются испытуемые стержни. Концы их проводников вставляют в гнезда гребенки с контактами, соединенными с пакетными переключателями на панели управления. Поворотом ручек переключателей напряжение 220 В подается последовательно на каждую пару проводников. Если изоляция проводника повреждена, то загорается сигнальная лампа.

Лобовые части стержней изгибают и формуют на гибочных шаблонах. Обе лобовые части стержней турбогенераторов отгибают в одну и ту же сторону, так как в турбогенераторах выполняют петлевую обмотку. В многополюсных гидрогенераторах обмотка волновая и лобовые части стержней отгибают в разные стороны.

Рис. 96. Приспособление для гибки и формовки стержней гидрогенераторов

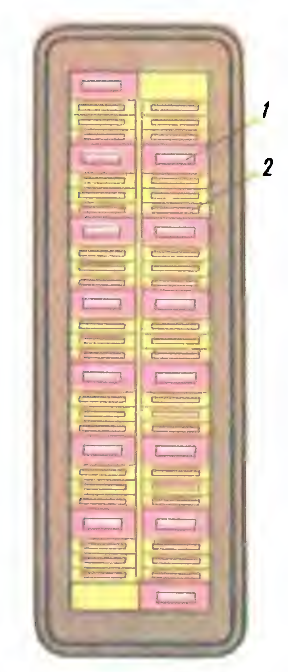


Рис. 97. Стержень турбогенератора с непосредственным водяным охлаждением:

1 — полые проводники, *2* — обычные проводники

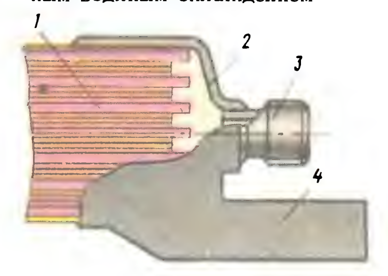


Рис. 98. Наконечник для соединения стержней с непосредственным водяным охлаждением

Устройство для гибки и формовки стержней гидрогенераторов (рис. 96) состоит из двух головок *3* и *16*, соединенных планкой *8*. Стержень *7* зажимается в приспособление с помощью прижимных планок *9* эксцентриковыми зажимами *10* и *17*. Лобовые части стержня изгибают нажимными планками *2* и *12*, которые поворачиваются под действием гидравлических механизмов. Выводные концы стержня изгибаются рычагами *5* и *14*, связанными с поршнями гидравлических цилиндров *6* и *15*. Концы стержней подрезаются переносной дисковой фрезой. Откидные части *4* и *13* устройства отводятся в стороны поворотом вокруг осей *1* и *11*, и на концы стержней устанавливают приспособления для насадки наконечников.

В современных крупных турбо- и гидрогенераторах применяют непосредственное охлаждение обмоток статора водой. Вода пропускается вдоль полых проводников и снижает их температуру практически до температуры охлаждающей воды, что позволяет значительно повысить плотность тока в обмотке и увеличить мощность машины, не меняя ее размеров. Для стержней такой обмотки используют полые элементарные проводники. Стержень обмотки с непосредственным водяным охлаждением (рис. 97) состоит из элементарных проводников, часть которых выполнена из полой меди. Вода, циркулирующая по их внутренним отверстиям, охлаждает не только эти проводники, но и соседние.

Технология изготовления стержней с полыми проводниками такая же, как и со сплошными. Добавляется только ряд операций по контролю герметичности стенок полых проводников и по

контролю проходимости воды по внутренним каналам, так как в процессе изгибания проводников и лобовых частей стержня каналы могут оказаться сжатыми. Герметичность стенок полых проводников и проходимость внутренних каналов проверяют два раза: непосредственно после получения на заводе бухты провода и после изготовления и укладки стержней в пазы.

Для пропускания воды через каналы в элементарных проводниках в уложенной обмотке к концам каждого стержня припаивают наконечники, которые служат одновременно и для соединения стержней между собой, и для подвода охлаждающей воды (рис. 98). Наконечник состоит из водораспределительной камеры *2*, в которую впаиваются концы проводников стержня *1*, штуцера *3* с резьбой для подключения водопроводящих трубок и контактной пластины *4* для соединения головок стержней между собой. Водораспределительная камера медная, выполняется методом точного литья. Ее стенки должны выдерживать давление воды при работе машины, а контактная пластина должна иметь достаточную площадь поперечного сечения для пропускания тока стержня. Концы проводников стержня впаиваются в камеру серебряным припоем ПСр-45. Пайка должна обеспечивать водонепроницаемость и необходимую механическую прочность места соединения. Штуцер делают из нержавеющей стали и впаивают в камеру в среде защитного газа (аргона), что обеспечивает достаточно надежное соединение с медью наконечника. После этого стержни поступают на изолировочный участок.

Корпусная изоляция стержней высоковольтных машин выполняется непрерывной из микаленты с последующей компаундировкой в битумных лаках (изоляция класса В) или типа «монолит» из слоев слюдинитовой ленты, пропитанной эпоксидным компаун-

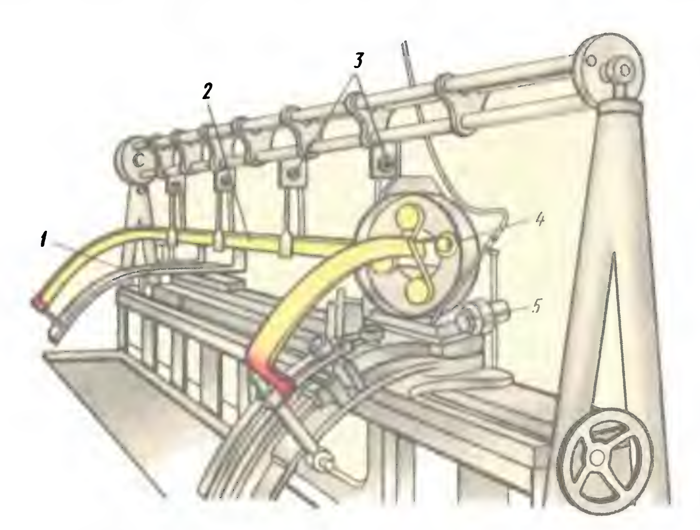


Рис. 99. Станок ЛУС-6 для изолирования стержней

дом. И при той и при другой конструкции изоляции ленточный изоляционный материал накладывается на стержень вполнахлеста в несколько слоев. Операция наложения микаленты или слюдинитовых лент на стержни обмотки механизирована. Стержни изолируются на изолировочных станках типа ЛУС или ЛШ. На рис. 99 показан станок ЛУС-6 с установленным на нем стержнем турбогенератора. Стержень *2* устанавливается на кронштейн и закрепляется на стержнедержателях *3*. Вдоль станка по копиру *1*, повторяющему очертания стержня, двигается каретка *5* с изолировочной головкой *4*. Вдоль всего копира устанавливается зубчатая рейка. Она имеет сменные участки, подбор которых позволяет настроить копир на определенный размер стержня: прямолинейные части и закругления, соответствующие изгибу стержня в лобовых частях. На изолировочной головке укреплены четыре рулона с установленными в них лентами изоляции. Каретка движется вдоль стержня в одну и в другую сторону несколько раз. При подходе каретки к стержнедержателю он автоматически раскрывается, освобождая путь обмоточным головкам, а после прохода каретки снова захватывает стержень. Наложив необходимое число слоев изоляции, к стержню для предохранения его от деформации привязывают металлическую Г-образную рейку, снимают его со станка и передают на компаундирование. В стержнях обмотки с непосредственным водяным охлаждением в припаянные наконечники ввертывают заглушки, чтобы исключить возможность затекания компаунда в каналы полых проводников.

После компаундирования готовые стержни поступают на испытательную станцию для испытания электрической прочности изоляции и оттуда в обмоточный цех для укладки в пазы статора.

§ 34. ОСОБЕННОСТИ УКЛАДКИ ОБМОТОК СТАТОРОВ КРУПНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Последовательность укладки в пазы катушек обмотки крупных электрических машин такая же, как и машин средней мощности. Но с увеличением мощности и размеров машин возрастает поперечное сечение катушек и увеличивается их механическая жесткость. Усилия, необходимые для установки в пазы катушек, отгиба и рихтовки их лобовых частей, возрастают. В то же время изоляция больших катушек имеет такую же механическую прочность, как и малых. Сильные и резкие удары могут привести ее в негодность. Поэтому при укладке обмоток крупных машин часто используют различные домкраты, с помощью которых можно создать сильное равномерное давление на всю пазовую часть катушки и не повредить ее изоляцию. Домкрат упирают в установленную в статоре перекладину и создают давление на прямолинейную пазовую часть катушки через вставленную в паз осадочную доску. Для полного осажи-

вания пазовой катушки в паз на место постоянного клина устанавливают стальную пластину, ширина которой должна быть несколько меньше, чем клина, так, чтобы она свободно перемещалась в клиновых выемках паза. На верхнюю часть помещенной в паз катушечной стороны укладывают предохранительную прокладку и с двух сторон статора забивают длинные деревянные или текстолитовые осадочные клинья со скосами, направленными навстречу друг другу. При сдвигании навстречу друг другу осадочные клинья упираются сверху в стальную пластину, создают равномерное деление на всю верхнюю поверхность катушки и осаживают ее на дно паза. Лобовые части отгибаются в нужное положение также с помощью домкрата, упирающегося одной стороной в деревянную планку, приложенную к лобовой части катушки, а другой — в торец статора.

Обмотка статоров современных турбо- и гидрогенераторов, как правило, выполняется не катушечной, а стержневой. При этом отпадает необходимость в подъеме шага и укладке замковых катушек. Вначале укладывают все стержни нижнего слоя, последовательно рихтуя и привязывая к бандажным кольцам их лобовые части, после чего, установив прокладку между слоями, укладывают стержни верхнего слоя. Масса стержня обмотки крупного турбогенератора или гидрогенератора достигает 100 кг и более, поэтому укладка стержней в пазы выполняется несколькими обмотчиками.

Статоры тихоходных вертикальных гидрогенераторов делают разъемными. Обычно они разнимаются на четыре или шесть сегментов. Укладка стержней в пазы сегментов облегчена тем, что сегменты располагаются на обмоточном участке пазами вверх и у обмотчиков имеется много свободного места для работы. Стержни укладывают не во все пазы сегментов: несколько пазов с обоих торцов сегмента оставляют свободными. Число таких пазов с каждой стороны равно примерно половине шага обмотки. Это делают для того, чтобы во время транспортировки обмотанных сегментов к месту установки гидрогенератора лобовые части уложенных стержней не выступали за габариты сегмента и не повреждались. В оставшиеся свободными пазы стержни устанавливают после сборки статора на гидроэлектростанции.

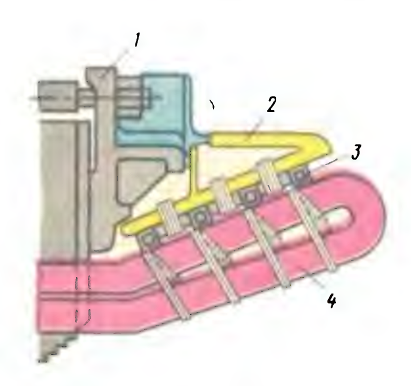


Рис. 100. Крепление лобовых частей обмотки статора турбогенератора

Внутренние диаметры статоров турбогенераторов относительно небольшие. Даже в очень мощных машинах они лишь немного больше метра, что очень затрудняет укладку статорной

обмотки, каждый стержень которой имеет большую массу, большую длину пазовой части и отогнутых лобовых частей. Статорную обмотку турбогенераторов укладывает бригада обмотчиков. При этом используют все описанные выше способы для равномерной осадки стержней на дно пазов и рихтовки лобовых частей (осадочные клинья, домкраты и т. п.). Лобовые части стержней, как правило, крепятся с каждой стороны статора двумя или тремя бандажными кольцами, которые, в свою очередь, прикреплены на стойках к нажимным плитам статора. На рис. 100 показана система крепления лобовых частей обмотки турбогенератора. Лобовые части *4* прочно прибандажированы к нескольким бандажным кольцам *3*, которые установлены на кронштейнах *2*, закрепленных на нажимной плите *1*.

Стержни турбо- и гидрогенераторов между собой и схему обмотки соединяют либо пайкой головок стержней встык серебряными припоями типа ПСР, либо с помощью наконечников на головках стержней с последующей пропайкой.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В какой последовательности изготовляют катушки обмотки из прямоугольного провода?

2. Зачем нужно растягивать намотанную лодочку и как работает станок для растяжки?

3. Какие виды междувитковой изоляции применяют в обмотках из прямоугольного провода?

4. Как накладывается непрерывная изоляция на станке ЛШ-4?

5. Зачем и на каких приспособлениях рихтуют лобовые части катушек из прямоугольного провода?

6. Зачем делают транспозицию элементарных проводников в стержнях обмотки статоров крупных электрических машин?

7. На каком приспособлении изгибают элементарные проводники стержневых обмоток статора? Как он работает?

8. Опишите последовательность плетения стержня из элементарных проводников.

9. В каких турбогенераторах часть элементарных проводников делают из полой меди и для чего они нужны?

ГЛАВА VIII

СТЕРЖНЕВЫЕ ОБМОТКИ РОТОРОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

§ 35. СХЕМЫ ОБМОТОК ФАЗНЫХ РОТОРОВ

Обмотки фазных роторов асинхронных двигателей мощностью более 70—80 кВт, как правило, выполняют стержневыми. В фазных роторах современных асинхронных двигателей почти всегда применяют двухслойные волновые обмотки, так как в двухслойных обмотках лобовые части изгибаются меньше, чем в одно-

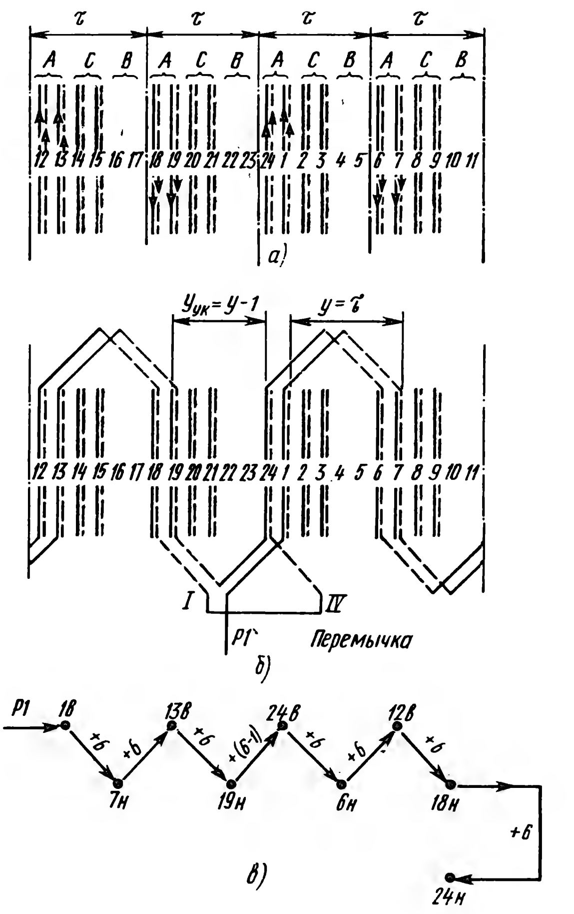


Рис. 101. Построение схемы стержневой волновой обмотки фазного ротора:

а — распределение пазов по фазам, *б* — соединение стержней первой половины фазы, *в* — последовательность соединения стержней

слойных, а в волновых обмотках меньше межгрупповых соединений, чем в петлевых той же полюсности.

Закономерность соединения схемы стержневых волновых обмоток рассмотрим на конкретном примере. Составим схему волновой стержневой обмотки трехфазного ротора с $Z_2 = 24$ и $2p = 4$. На рис. 101, *а* показаны 24 пары линии пазов, в которых располагаются стержни верхнего (сплошные линии) и нижнего (пунктирные линии) слоев обмотки. Разметим пазы так же, как в схемах двухслойных обмоток статора, т. е. распределим все пазы по полюсным делениям и обозначим фазы обмотки. Полюсное деление ротора содержит $Z_2/(2p)=24/4=6$ пазовых делений. Число пазов на полюс и фазу $q_2=Z_2/2pm=24/(4\cdot3)=2$. Для всех

стержней фазы *A* отметим стрелками направление мгновенных значений токов. Оно меняется при переходе от одного полюсного деления к другому. Построение схемы обмотки начнем, приняв за начало фазы *A* верхний стержень, лежащий в первом пазу (рис. 101, *б*). Одновременно с вычерчиванием схемы обмотки будем заполнять таблицу соединений с указанием номеров пазов и последовательности шагов, как показано на рис. 101, *в*. Обмотку выполняют с диаметральным шагом (для нашей схемы $y = \tau_2 = 6$ пазовым делением). Обмотка двухслойная, поэтому верхний стержень, лежащий в первом пазу, должен быть соединен с нижним стержнем, лежащим в $(1 + y) = (1 + 6) = 7$ пазу. Следующим шагом нижний стержень 7-го паза соединяется с верхним стержнем, лежащим в $(7 + 6) = 13$ пазу. Проделав таким образом $2p - 1 = 4 - 1 = 3$ шага из 1в в 7н, из 7н в 13 в, из 13в в 19н, убедимся, что при следующем таком же шаге стержень, лежащий в нижнем слое 19-го паза, должен быть соединен со стержнем, взятым за начало фазы, лежащим в верхнем слое 1-го паза, т. е. обмотка замкнется сама на себя. Чтобы этого не произошло, следующий шаг изменяют на одно зубцовое деление — укорачивают или удлиняют, т. е. делают его равным $(y + 1)$ или $(y - 1)$. Чаще применяют укороченный шаг, так как он приводит к некоторой экономии меди.

Первый обход обмотки по всей окружности ротора завершается укороченным (или удлиненным) шагом, после чего соединение продолжают в той же последовательности с диаметральными шагами, изменяя их в конце каждого из обходов. После q_2 таких обходов (в нашем случае после двух обходов, так как $q_2 = 2$) укорачивать последний шаг уже нельзя, так как это приведет к соединению обмотки фазы *A* со стержнями соседней фазы (18н + 6 — 1 = 23в — принадлежит фазе *B*). К этому моменту уже соединена половина всех стержней фазы *A* и в каждом пазу этой фазы находится только по одному стержню: верхнему или нижнему (см. рис. 101, *б*). Для заполнения оставшихся после первых q_2 обходов половин пазов фазы последний стержень, на котором закончился обход (на нашей схеме — нижний стержень 18-го паза), соединяют перемычкой со стержнем, занимающим такое же положение в пазу на расстоянии шага в направлении обхода. В нашем примере нижний стержень 18-го паза соединяется с нижним стержнем 24-го $(18 + 6)$ паза. Дальнейшие соединения продолжают в той же последовательности, но в направлении, обратном принятому первоначально. После обходов в обратном направлении построение схемы одной фазы обмотки заканчивается. Схема соединения фазы *A* изображена на рис. 102, а всех фаз обмотки ротора — на рис. 103. По схеме рис. 103 можно проследить основные закономерности, характерные для стержневых волновых обмоток роторов. Начала фаз располагаются в 1, 9 и 17-м пазах, т. е. через $2q_2p = 2 \cdot 2 \cdot 2 = 8$ зубцовых делений. Такое расстояние между началами фаз обеспечивает и электрическую и геометрическую симметрии обмотки. Электриче-

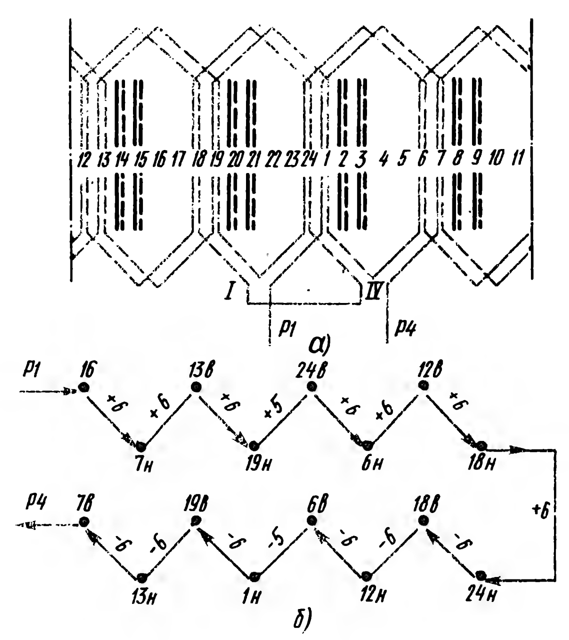


Рис. 102. Схема соединения стержней одной фазы волновой обмотки ротора (*а*) и последовательность их соединения (*б*)

ский угол между началами фаз кратен 120° (он равен $2p \cdot 60° = 2 \cdot 2 \cdot 60 = 240$ эл. град), а геометрический угол равен 120°, т. е. начала фаз расположены симметрично по окружности ротора.

Каждая фаза обмотки имеет только одну перемынку между катушечными группами независимо от числа полюсов машины. Напомним, что в петлевых обмотках таких перемычек будет $(2p - 1)$ в каждой фазе (см., например, рис. 28). В этом ясно видно преимущество волновых обмоток, особенно для многополюсных машин. Так, например, в каждой фазе петлевой обмотки с $2p = 12$ будет по 11 перемычек между катушечными группами, а в фазе стержнёвой волновой — только одна.

При симметрично выбранных началах фаз обмотки также симметрично по окружности ротора располагаются концы фаз (*P*4 — в 7-м, *P*5 — в 15-м, *P*6 — в 23-м пазах) и перемычки между катушечными группами, что облегчает балансировку ротора после укладки обмотки. В большинстве случаев обмотка ротора соединяется в звезду. Начала фаз обмотки ротора (*P1, P2, P3*) соединяются с контактными кольцами, а концы фаз (*P4, P5, P6*) — между собой кольцевой перемычкой.

Как мы уже знаем, обмотка может быть выполнена и с удлиненными шагами в конце каждого обхода. Ее схема строится так же, как и схема на рис. 103, но в конце обхода выполняется удлиненный шаг, равный $(y + 1)$. Из-за увеличения шага не-

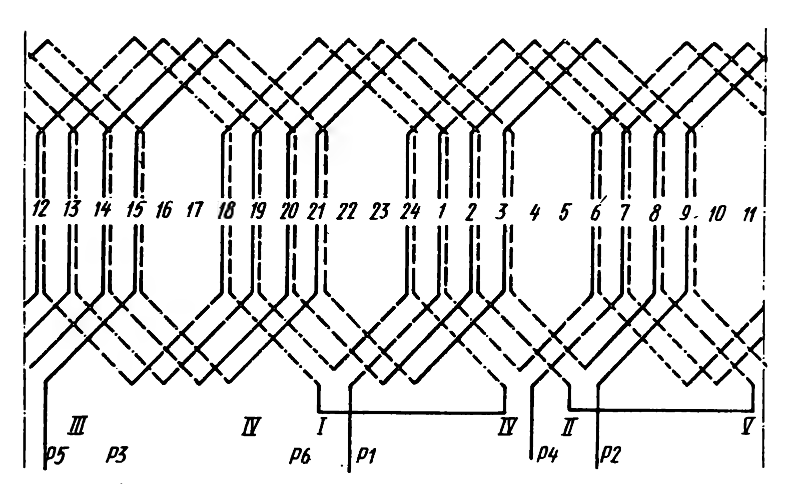


Рис. 103. Схема стержневой волновой обмотки ротора с укороченными переходами с $Z=24$, $2p=4$

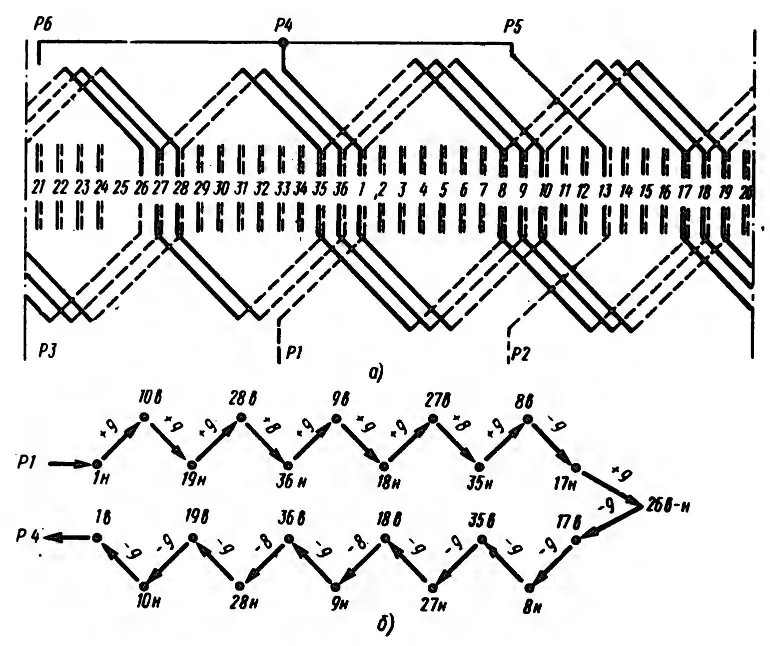


Рис. 104. Схема фазы стержневой волновой обмотки ротора с переходным стержнем с $Z=36$, $2p=4$ (*а*) и последовательность соединений стержней (*б*)

сколько удлиняются лобовые части стержней, соединенных с перемычками, а у выводных стержней возникают дополнительные перекрещивания в лобовых частях.

Иногда стержневую волновую обмотку ротора делают с различными переходными шагами: при обходе первой ветви до пе-

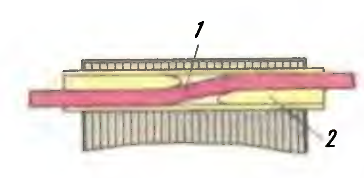


Рис. 105. Переходной стержень в пазу ротора

ремычки с удлиненными, а после перемычки — с укороченными.

Встречаются также схемы обмоток фазных роторов, выполненные без перемычек (рис. 104). В таких обмотках на месте последнего при прямом обходе стержня, который в обычных схемах соединяется с перемычкой, устанавливают изогнутый переходный стержень (паз *26* на рис. 104). Половина этого стержня *1* (рис. 105) располагается в нижней, а другая половина — в верхней части паза. Обе лобовые части переходного стержня отгибаются в одну и ту же сторону, и направление обхода соединения обмоток после переходного стержня меняется на обратное, так же как и после перемычки. В таких схемах выводные концы последних стержней всех фаз располагаются на противоположной от начал фаз стороне ротора. Соединение стержней в них более удобно, чем в схемах с перемычками, однако обмоточные работы усложняются в связи с необходимостью добавочного закрепления переходных стержней. Свободные части пазов, в которых расположены переходные стержни, заполняются либо текстолитовыми прокладками *2*, либо отрезками изолированной медной шины того же размера, что и стержни обмотки, как показано на рис. 105.

Стержневую волновую обмотку делают с одной или реже с двумя параллельными ветвями. Выполнение большего числа параллельных ветвей из-за дополнительных соединений в лобовых частях технологически трудно и в практике применяется редко. Для получения двух параллельных ветвей перемычку между половинами фаз убирают и каждую половину обмотки соединяют с начальными и конечными выводами фаз (рис. 106).

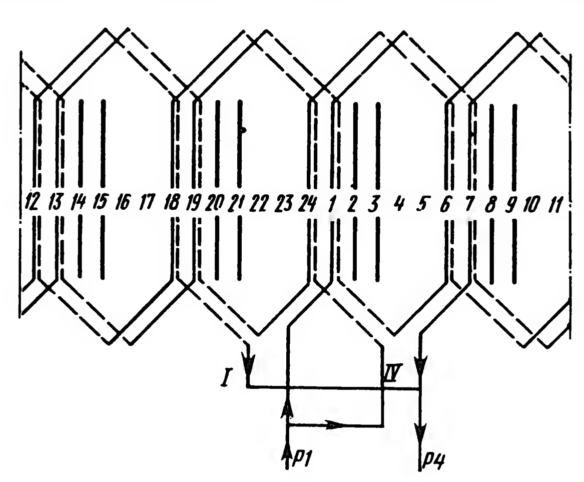


Рис. 106. Соединение фаз обмотки ротора в две параллельные ветви

Чтобы начала фаз в обмотке ротора располагались по окружности ротора симметрично, между ними должно заключаться $2q_2p$ пазов. Такое симметричное расположение возможно во всех роторах, число полюсов которых не кратно трем. В двигателях с числом, кратным трем ($2p = 6$, 12 и т. д.), симметричное положение выводов приходится нарушать, так как через $2q_2p$ пазов в них располагаются стержни одной и той же фазы. Начала фаз в обмотках роторов таких машин выбирают через $2q_2(p - 1)$ пазовых делений.

§ 36. ОБМОТКИ ФАЗНЫХ РОТОРОВ С ДРОБНЫМ ЧИСЛОМ ПАЗОВ НА ПОЛЮС И ФАЗУ

Стержневые волновые обмотки роторов асинхронных двигателей в большинстве случаев выполняются с целым числом пазов на полюс и фазу. Однако в многополюсных машинах иногда необходимо выполнить такое число пазов ротора, что q_2 получается дробное. Наиболее часто встречаются числа пазов на полюс и фазу со знаменателем дробности, равным 2, т. е. $q_2 = 2^1/_2$, $3^1/_2$ и т. д. Построение схемы обмотки ротора с $q_2 = 2^1/_2$ показано на рис. 107. Первую прямую ветвь — половину каждой фазы обмотки — соединяют так же, как и при целом q_2, равном целой части дробного. В обмотке на рис. 107 $q_2 = 2^1/_2$, поэтому прямую ветвь фазы соединяют так же, как для обмотки с целым $q_2 = 2$, а после перемычки при обратном обходе так же, как для обмотки с целым $q_2 = 3$. Но при дробном q_2 шаги обмотки не могут быть выполнены диаметральными. Если знаменатель дробности равен 2, то диаметральный шаг $y = \tau_2 = 3q_2$ не будет выражен целым числом зубцовых делений. Поэтому прямая и обратная ветви обмотки имеют последовательно меняющиеся шаги, один из которых берется равным $y' = \tau_2 \mp 0{,}5$ зубцовым делениям, а следующий $y'' = \tau_2 \pm 0{,}5$ зубцовым делениям. В этих выражениях в первом случае стоит знак «$\mp$», а во втором — «$\pm$». Это означает, что если первый шаг укороченный, например на схеме рис. 107, $y' = \tau_2 - 0{,}5 = 7{,}5 - 0{,}5 = 7$, то второй должен быть удлиненным: $y'' = \tau_2 + 0{,}5 = 7{,}5 + 0{,}5 = 8$. При этом шаги со стороны выводных концов обмотки и с противоположной стороны ротора получаются различными. Если со стороны выводов шаг будет укорочен по сравнению с полюсным делением, то с противоположной стороны — удлиненным, но в сумме каждая пара шагов всегда остается равной двойному полюсному делению $y' + y'' = 2\tau_2$. После соединения схемы стержни фаз оказываются расположенными по группам, каждая из которых занимает q_2 пазов (на рис. 107 — 2 целых и одну половину — верхнюю или нижнюю часть паза, т. е. $2^1/_2$ пазов на полюс и фазу).

Параллельных ветвей в стержневых волновых обмотках фазных роторов с дробным q_2 не делают, так как прямая и обрат-

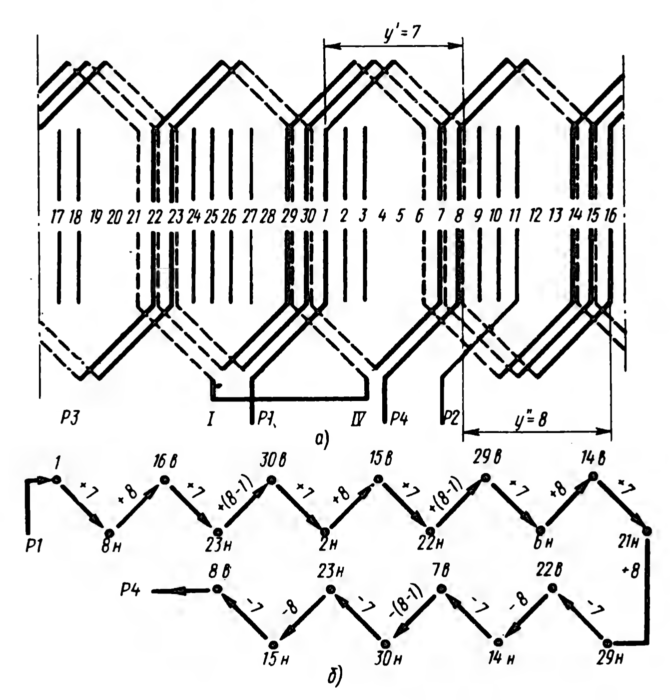


Рис. 107. Схема соединения одной фазы стержневой волновой обмотки ротора с $Z=30$, $2p=4$, $q=2^1/_2$ (*а*) и последовательность соединения стержней (*б*)

ная ветви каждой фазы содержат различное число стержней и для образования параллельных ветвей требуется устанавливать дополнительные перемычки.

§ 37. ТАБЛИЦЫ ПОЛОЖЕНИЙ СТЕРЖНЕЙ В ВОЛНОВЫХ ОБМОТКАХ РОТОРОВ

Не все стержни волновой обмотки фазного ротора имеют одинаковые лобовые части. Стержни нижнего и верхнего слоев различаются по направлению отгиба лобовых частей. Размеры лобовых частей начальных и конечных стержней каждой фазы и стержней, соединенных перемычками, будут отличаться от размеров лобовых частей остальных стержней обмотки. Это создает определенные трудности при укладке стержней в пазы, так как требуется повышенное внимание и нарушается ритм работы: через определенное число пазов должны быть установлены стержни, имеющие другие размеры. Чтобы упростить работу по укладке, обмотчики вначале устанавливают стержни, имеющие специфические размеры, идущие к перемычкам, начальные и конечные. Место каждого из таких стержней можно определить по схеме обмотки, но еще проще воспользоваться заранее составлен-

Таблица 6. **К составлению схем стержневых волновых обмоток роторов с укороченными переходными шагами**

Число полюсов $2p$	Число пазов Z	Число пазов на полюс и фазу q	Шаги			Номера верхних стержней						Номера нижних стержней					
						Начала фаз			Концы фаз			Начала перемычек			Концы перемычек		
			y'	y''	$y_{ук}$	$P1$	$P2$	$P3$	$P4$	$P5$	$P6$	I	II	III	IV	V	VI
4	18	1,5	4	5	4	1	7	13	5	11	17	13	1	7	18	6	12
4	24	2	6	6	5	1	9	17	7	15	23	18	2	10	24	8	16
4	30	2,5	7	8	7	1	11	21	8	18	28	21	1	11	29	9	19
4	36	3	9	9	8	1	13	25	10	22	34	26	2	14	35	11	23
4	42	3,5	10	11	10	1	15	29	11	25	39	29	1	15	40	12	26
4	48	4	12	12	11	1	17	33	13	29	45	34	2	18	46	14	30
4	54	4,5	13	14	13	1	19	37	14	32	50	37	1	19	51	15	33
4	60	5	15	15	14	1	21	41	16	36	56	42	2	22	57	17	37
6	45	2,5	7	8	7	1	11	36	8	18	43	36	1	26	44	9	34
6	54	3	9	9	8	1	13	43	10	22	52	44	2	32	53	11	41
6	63	3,5	10	11	10	1	15	50	11	25	60	50	1	36	61	12	47
6	72	4	12	12	11	1	17	57	13	29	69	58	2	42	70	14	54
6	81	4,5	13	14	13	1	19	64	14	32	77	64	1	46	78	15	60
6	90	5	15	15	14	1	21	71	16	36	86	72	2	52	87	17	67
8	72	3	9	9	8	1	25	49	10	34	58	62	14	38	71	23	47
8	84	3,5	10	11	10	1	29	57	11	39	67	71	15	43	82	26	54
8	96	4	12	12	11	1	33	65	13	45	77	82	18	50	94	30	62
8	108	4,5	13	14	13	1	37	73	14	50	86	91	19	55	105	33	69
8	120	5	15	15	14	1	41	81	16	56	96	102	22	62	117	37	77
10	60	2	6	6	5	1	21	41	7	27	47	54	14	34	60	20	40
10	75	2,5	7	8	7	1	26	51	8	33	58	66	16	41	74	24	49
10	90	3	9	9	8	1	31	61	10	40	70	80	20	50	89	29	59
10	105	3,5	10	11	10	1	36	71	11	46	81	92	22	57	103	33	68
12	72	2	6	6	5	1	21	53	7	27	59	66	14	46	72	20	52
12	90	2,5	7	8	7	1	26	66	8	33	73	81	16	56	89	24	64
12	108	3	9	9	8	1	31	79	10	40	88	98	20	68	107	29	77
12	126	3,5	10	11	10	1	36	92	11	46	102	113	22	78	124	33	89

Примечание. y' — шаги обмоток на стороне, противоположной началам фаз; y'' — шаги обмоток со стороны расположения начала фаз; $y_{ук}$ — укороченные переходные шаги.

ной таблицей, в которой указаны номера пазов и положение в них стержней (в верхнем или нижнем слое паза), к которым присоединяются начала и концы фаз и перемычек. Примером может служить таблица стержневой волновой обмотки с укороченными переходными шагами, составленная для двигателей с различными числами полюсов и пазов (табл. 6). В обмотках с целым q_2 шаги со стороны, противоположной выводам y', и шаги обмотки со стороны выводов y'' одинаковы. В обмотках с дробным q_2 шаги y' на одно пазовое деление меньше, чем шаги y''. Укороченные переходные шаги $y_{ук}$ всегда на одно пазовое деление меньше, чем шаги y''. Начала фаз обмотки и концы фаз располагаются в верхних слоях пазов.

Стержни, соединяемые перемычками, расположены в нижних слоях пазов. Начала и концы перемычек разных фаз обозначены на схемах теми же цифрами, что и начала и концы фаз, но римскими: начало и конец перемычки в первой фазе — I и IV, во второй фазе — II и V, в третьей фазе — III и VI.

§ 38. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТЕРЖНЕЙ ВОЛНОВЫХ ОБМОТОК ФАЗНЫХ РОТОРОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Стержни волновых обмоток фазных роторов асинхронных двигателей делают из медных неизолированных проводов большого сечения. Их устанавливают в полузакрытые или закрытые пазы, вдвигая с торца ротора. Поэтому при изготовлении стержней изгибают только одну их лобовую часть. Вторая лобовая часть выгибается после установки стержней в пазы. Изгиб первой лобовой части в двух местах (при переходе от прямолинейной части стержня к лобовой и отгиб конца стержня) производят на гибочных станках с ручным или пневматическим приводом. Перед изгибанием концы стержней лудят, опуская в ванну с расплавленным припоем.

Пневматический станок для изгибания роторных стержней (рис. 108) имеет два пневматических цилиндра с вертикальным *1* и горизонтальным *10* ходом поршня. Прямую заготовку стержня *8* устанавливают в паз, образованный двумя сменными накладками *6* и *9* матрицы. Пуансон *2*, приводимый в движение поршнем вертикального цилиндра, опускается и выгибает лобовую часть стержня на ребро, прижимая ее к поверхности матрицы. После этого сжатый воздух подается в горизонтальный цилиндр, поршень которого соединен с зубчатой рейкой *4*. Рейка, перемещаясь, поворачивает зубчатое колесо *5* и коромысло *3*. Коромысло, в свою очередь, упираясь шипами в рычаги *11* и *7*, поворачивает их и изгибает лобовую часть и выводной конец стержня. После снятия давления оба поршня возвращаются в исходное положение и стержень освобождается. Угол отгиба лобовой части регулируется величиной хода зубчатой рейки. Для изменения длины лобовой части

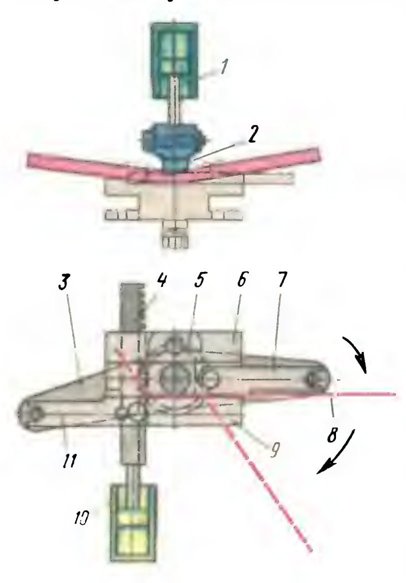


Рис. 108. Пневматический станок для изгибания лобовых частей стержней обмотки ротора

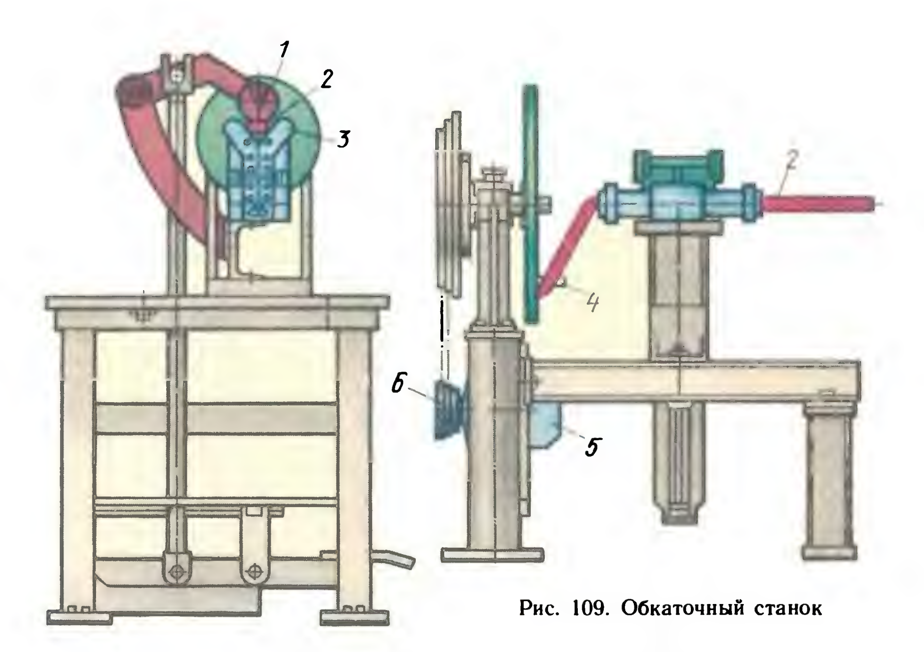


Рис. 109. Обкаточный станок

стержня устанавливают накладки. После изгибания лобовой части стержни передают на изолировочный участок.

Пазовая изоляция стержней роторов выполняется гильзовой, а лобовая — непрерывной. Для гильзовой изоляции применяют микафолий или слюдопластофолий (класс нагревостойкости B) или синтофолий (классы нагревостойкости F и H). Заготовку изоляции вырезают по форме трапеции, одно основание которой на 10—15 мм больше другого. Ширина заготовки зависит от того, сколько раз должна быть обернута изоляция вокруг стержня. Толщина пазовой изоляции обмотки определяется напряжением на контактных кольцах ротора. Поэтому точное число слоев заготовки изоляции пазовой части стержня указывается в технологической карте. Обычно в машинах с низким напряжением на контактных кольцах делают 3—4 оборота, при напряжениях выше 1200 В изоляцию обертывают вокруг стержня 9—10 раз.

Заготовку изоляции расстилают на плите и подогревают, при этом лак размягчается и изоляция становится гибкой. Стержень прижимают к заготовке изоляции и обертывают нужное число раз, поворачивая за отогнутую лобовую часть. Кромки изоляции образуют конические поверхности, на которые в дальнейшем будут заходить витки непрерывной изоляции лобовых частей.

После обертывания изоляцию пазовой части уплотняют, обкатывая в горячих утюгах на обкаточных станках (рис. 109). Пазовую часть стержня *2* помещают в углубление фасонного утюга *3* с электрическим подогревом и прижимают сверху утюгом *1*, который может совершать вертикальные колебательные движения, все время поджимая стержень к нижнему утюгу. Ото-

гнутая лобовая часть стержня зацепляется выступом планшайбы *4*, которая приводится во вращение от электродвигателя *5* через систему понижающих частоту вращения передач *6*. При включении станка планшайба вращает стержень и изоляция пазовой части плотно укатывается. После обкатки пазовая изоляция опрессовывается в прессах с подогревом (рис. 95). В прессах происходит опрессовка и запечка гильзовой изоляции, в результате чего она приобретает высокую монолитность, механическую и электрическую прочность и влагостойкость.

Лобовые части стержней изолируют после опрессовки и выпечки пазовой изоляции. Изоляция из ленточного материала накладывается вполнахлеста на обе — изогнутую и прямую — лобовые части стержня. Эта работа выполняется вручную. Особое внимание следует уделять местам стыка пазовой (гильзовой) и лобовой (непрерывной) изоляции. Слои непрерывной изоляции должны плотно заходить на конусную часть гильзы, но утолщение общего слоя изоляции в этих местах недопустимо, так как неизогнутая лобовая часть стержня в процессе укладки должна проходить внутри паза вдоль всего ротора.

§ 39. ТЕХНОЛОГИЯ УКЛАДКИ СТЕРЖНЕВОЙ ОБМОТКИ РОТОРА

Для укладки обмотки ротор устанавливают концами вала на подставки, имеющие углубления, таким образом, чтобы к нему можно было свободно подойти с любой стороны и легко повернуть во время работы. Пазы и торцовые части ротора очищают и продувают сжатым воздухом, после чего изолируют обмоткодержатели и в каждый паз устанавливают прокладки на дно и так называемые проходные пазовые короба — дополнительную изоляцию, служащую для защиты пазовой изоляции стержней от повреждений о стенки паза. Пазовые короба для обмотки с изоляцией класса нагревостойкости В делают из электрокартона толщиной 0,15—0,2 мм. Для обмоток с более высоким классом нагревостойкости пазовые короба делают из стеклолакоткани соответствующих марок. Длина пазовых коробов больше длины сердечника ротора на 10—15 мм.

После установки изоляции приступают к разметке пазов. Для этого ротор обертывают полоской электрокартона ближе к стороне контактных колец, которую закрепляют шнуром, чтобы она не сдвигалась при укладке стержней. Далее определяют первый паз, в который будет уложен начальный стержень первой фазы. В современных асинхронных двигателях контактные кольца располагают на валу ротора с внешней стороны подшипников (рис. 110). Выводные концы фаз пропускают через внутреннее отверстие вала под подшипниками, которое высверлено в нем со стороны контактных колец. На уровне торца ротора напротив концов начальных стержней находятся три радиальных отверстия, в которые должны проходить выводные концы обмотки. Поэтому паз,

в котором будет находиться начальный стержень, выбирают, ориентируясь на одно из отверстий на валу для пропуска выводного конца (с учетом сдвига на ширину отгиба лобовой части стержня). На полосе электрокартона, закрепленной на роторе, надписывают номера первого и последующих пазов и по схеме обмотки или таблице расположения стержней на этой же полосе размечают остальные пазы, в которые должны быть помещены начальные и конечные стержни фаз и стержни, соединяемые перемычками.

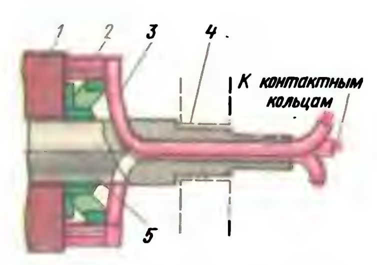


Рис. 110. Соединение выводов обмотки фазного ротора с контактными кольцами:

1 — магнитопровод ротора, *2* — стержни обмотки, *3* — выводы к контактным кольцам, *4* — место расположения подшипника, *5* — вал ротора

Стержни поступают на обмоточный участок только с одной изогнутой лобовой частью. В зависимости от своего назначения они имеют различную длину лобовых частей. Чтобы избежать ошибок при установке стержней в пазы, они должны быть заранее рассортированы по размерам.

Укладку начинают со стержней нижнего слоя. Их устанавливают с торца ротора со стороны выводов, т. е. со стороны расположения контактных колец. Их вставляют в пазы и продвигают до тех пор, пока расстояние от торца стали ротора до начала изгиба лобовой части стержня не будет соответствовать указанному в чертеже. Стержни должны входить в пазы плотно, но не слишком туго, так, чтобы их можно было установить на место без значительных усилий, могущих привести к изгибу стержня и порче его изоляции.

В нижнем слое обмотки обычно располагают стержни, соединяемые перемычками. Их вставляют в пазы первыми и легкими ударами выколотки через текстолитовую прокладку осаживают на дно паза. При сравнительно небольшом сечении обмотки стержни, соединяемые перемычкой, делают неразрезными, т. е. изгибают сразу два стержня и перемычку между ними в виде искривленной буквы «П». В этих случаях оба стержня с перемычкой укладывают одновременно в предназначенные для них пазы. Следующими устанавливают стержни с укороченными лобовыми частями. Таких стержней надо установить по $(q_2 - 1)$ на каждую фазу. Они располагаются в следующих по ходу отсчета пазах после начала перемычек (см. рис. 103 — стержни в нижнем слое пазов *19, 3, 11*). После этого вкладывают все остальные стержни первого слоя и осаживают их на дно пазов ударами выколотки через текстолитовую пластину. Удары должны быть не слишком сильные, чтобы не повредить изоляцию лобовых частей. Лобовые части равномерно с одинаковыми промежутками располагают на обмоткодержателе и стягивают временным бандажом из мягкой стальной проволоки в двух местах: по отогнутым концам стержней и в середине лобовых частей.

Изгиб второй лобовой части стержней производят с помощью фасонных ключей, одним из которых удерживают стержень на заданном расстоянии прямолинейного вылета из паза, а другим изгибают лобовую часть, накладывая его сверху на стержень. Чтобы изоляция во время изгибания не повредилась, ключи должны иметь закругленные кромки, а усилие не должно быть резким. Сразу изогнуть лобовую часть стержня на требуемый угол невозможно, так как рядом находятся еще не изогнутые лобовые части других стержней. Поэтому стержни изгибают постепенно, за несколько обходов, постепенно увеличивая угол отгиба до требуемого. Изогнутые лобовые части осаживают ударами деревянного молотка на обмоткодержатели и стягивают временными бандажами из мягкой стальной проволоки. Таким же образом отгибают концы стержней. Временные бандажи снимают и поверх лобовых частей нижнего слоя устанавливают межслойную изоляцию. Число слоев, марки изоляционных материалов и общая толщина межслойной изоляции указываются в технической документации. После этого в пазы на нижние стержни устанавливают прокладки из полосок механически твердого изоляционного материала. Толщина изоляционного материала, из которого нарезают прокладки, обычно 0,5 мм. Чтобы создать достаточное расстояние, между верхними и нижними стержнями устанавливают по три прокладки общей толщиной 1,5 мм. Стержни верхнего слоя вставляют в пазы со стороны, противоположной контактным кольцам. Первыми в отмеченные пазы вставляют начальные и конечные стержни фаз, потом остальные стержни верхнего слоя. Затем изгибают их лобовые части так же, как и нижних стержней, рихтуют и осаживают, прижимая пазовые и лобовые части к межслойной изоляции. Одновременно с помощью деревянного молотка и стальной лопатки выравнивают лобовые части.

Пазы заклинивают, предварительно установив прокладки под клин. Для прокладок под клин используют те же материалы, что и для прокладок между слоями. Их располагают поверх пазовых коробов.

Далее приступают к соединению стержней друг с другом. Со стороны, противоположной контактным кольцам, стержни соединяют с одинаковым шагом: верхний стержень одного паза с нижним, лежащим в пазу на расстоянии шага обмотки от первого. Со стороны контактных колец начала и концы фаз и стержни, соединенные перемычками, не соединяются с другими стержнями. Кроме того, рядом с началами перемычек расположены стержни, имеющие укороченные шаги. Чтобы не ошибиться, обмотчик отмечает начальные и конечные стержни каждой фазы и в первую очередь соединяет лобовые части стержней с укороченными шагами (q_2 — 1 соединений на фазу). Вся остальная обмотка имеет нормальные шаги.

Стержни соединяют между собой медными хомутиками *3* (рис. 111), которые надеваются на концы стержней *1* и *2*. Хому-

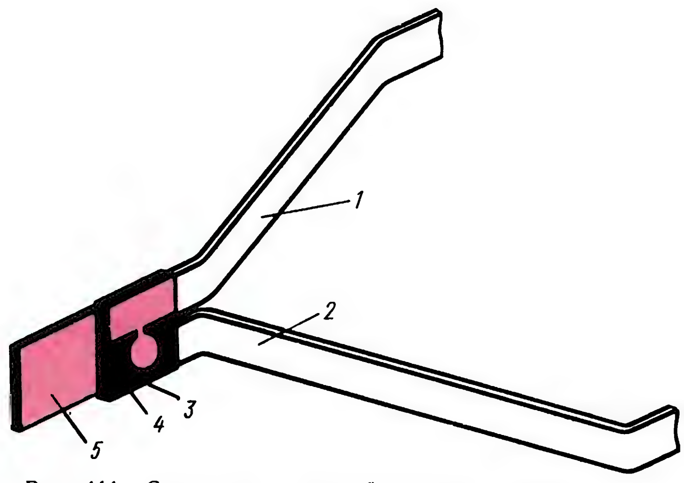


Рис. 111. Соединение стержней обмотки ротора

тики могут быть различной конструкции, однако в любом случае у них должен быть «замок», препятствующий разгибанию согнутого хомутика, и прорезь для лучшего заполнения места спайки припоем. В часть хомутиков вставляют вентиляционные лопатки *5*. Число лопаток и расстояние между ними указываются в чертеже. Установив хомутик, между стержнями забивают медный клин *4*, чтобы концы стержней были прочно закреплены в хомутике. Если стержни, которые должны быть соединены перемычками, выполнены раздельными, то их концы также с помощью хомутиков соединяют с изолированной перемычкой. Перемычки крепятся под обмоткодержателем, как показано на рис. 112. Большей частью обмотки ротора соединяют в звезду. В этом случае конечные стержни фаз соединяют с нулевой шиной — с медным изолированным кольцом, имеющим три отвода к каждому из концов фаз. Соединение схемы в треугольник или в две параллельные ветви выполняют также перемычками с помощью хомутиков.

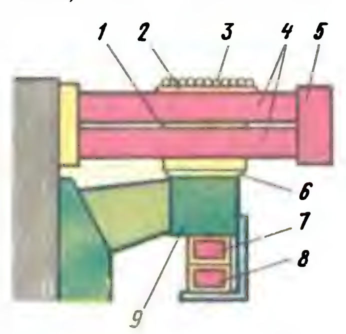


Рис. 112. Расположение перемычек на роторе:

1 — прокладка между слоями изоляции в лобовых частях, *2* — подбандажная изоляция, *3* — бандаж, *4* — стержни обмотки, *5* — соединительный хомутик, *6* — изоляция обмоткодержателя, *7* — соединительная нулевая шина, *8* — перемычка, *9* — обмоткодержатель

После того как схема соединена, на лобовые части обмотки накладывают подбандажную изоляцию, закрепляют ее лентой и наматывают временные бандажи. Перед тем как запаять все соединения, необходимо испытать изоляцию ротора высоким напряжением. Для этого концы стержней обертывают мягкой неизолированной проволокой, один электрод испытательной установки соединяют с корпусом рото-

ра, а второй — с любым из стержней или с этой проволокой. Если изоляция выдерживает испытание, то производят пайку всех соединений и наматывают постоянный бандаж. В роторах с большим напряжением на контактных концах запаянные хомутики изолируют ленточным изоляционным материалом, например микалентой или стекломикалентой, сверху которого для защиты от выветривания при работе машины накладывают слой стеклянной или лавсановой ленты.

Выводы фаз с помощью шнура поочередно протягивают в центральное отверстие вала, соединяют с начальными стержнями фаз, а свободные концы — с контактными кольцами.

§ 40. КОРОТКОЗАМКНУТЫЕ РОТОРЫ

Короткозамкнутые роторы выпускают двух типов: с обмоткой из вставных стержней или с литой обмоткой. Чтобы получить обмотку из вставных стержней, в пазы ротора (рис. 113, *а*) устанавливают неизолированные стержни *2*. На торцах ротора их замыкают кольцами *1* накоротко, впаивая концы стержней в прорези замыкающих колец или сваривая в местах соединений.

В двигателях общего назначения вставные стержни и кольца делают из меди нужного профиля: стержни — из прямоугольного или круглого, замыкающие кольца — из прямоугольного (рис. 113, *б*). В новых сериях крупных асинхронных двигателей, например в двигателях АН-2, короткозамкнутую обмотку ротора выполняют из алюминиевых прямоугольных шин.

Технология изготовления короткозамкнутых роторов упрощается, если их обмотку делать не из вставных стержней, а заливать расплавленный проводниковый материал в пазы сердечника ротора (рис. 114). В качестве проводникового материала применяют сплавы алюминия, имеющие сравнительно небольшое удельное сопротивление (в 1,7 раза больше, чем медь) и низкую температуру плавления (660°С).

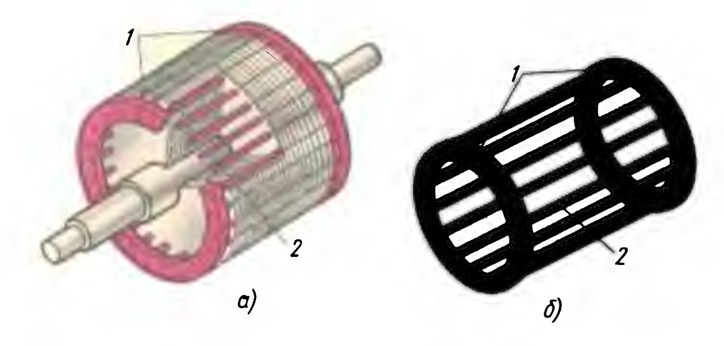


Рис. 113. Короткозамкнутый ротор с обмоткой из вставных стержней:
а — ротор в сборе, *б* — короткозамкнутая обмотка

Работы по заливке короткозамкнутых роторов, установке и пайке или сварке обмоток со вставными стержнями выполняют электрослесари, но обмотчики должны знать особенности конструкции и методы изготовления короткозамкнутых роторов асинхронных машин.

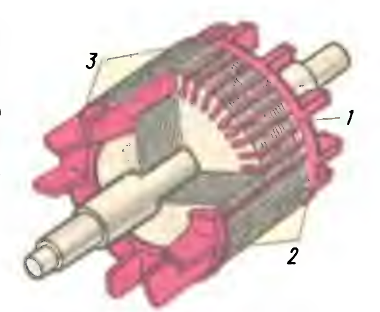


Рис. 114. Короткозамкнутый ротор с литой обмоткой: 1 — стержни обмотки, 2 — короткозамыкающие кольца, 3 — вентиляционные лопатки

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему в фазных роторах асинхронных двигателей применяют волновые стержневые обмотки?

2. Какие шаги обмотки фазного ротора укорачивают или удлиняют?

3. Как располагают начала фаз обмотки фазного ротора?

4. Как изгибают стержни фазного ротора асинхронного двигателя на приспособлении с пневматическим приводом?

5. Используя табл. 6, определить, в каких пазах должны располагаться выводные концы фаз и перемычек стержневой волновой обмотки ротора с $Z_2=72$ и $2p=6$. Можно ли такую обмотку соединить в две параллельные ветви?

6. В какой последовательности устанавливают стержни в пазы фазного ротора?

7. Зачем нужны хомутики при соединении стержней фазного ротора?

8. Какие типы короткозамкнутых роторов вы знаете?

9. Каким металлом заливают пазы короткозамкнутых роторов?

ГЛАВА IX

КОНСТРУКЦИЯ И СХЕМЫ ОБМОТОК ЯКОРЕЙ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

§ 41. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ОБОЗНАЧЕНИЯ ОБМОТОК ЯКОРЕЙ

Обмотки якорей машин постоянного тока по своей конструкции отличаются от рассмотренных в предыдущих главах обмоток машин переменного тока. Основным элементом в них является не катушка, а секция, состоящая из одного или нескольких витков. Выводные концы каждой секции соединяются с пластинами коллектора. С каждой пластиной соединяется конец одной и начало другой секции, поэтому число пластин в коллекторе равно числу секций в обмотке. Обмотка якоря выполняется двухслойной. В каждом слое паза — верхнем и ниж-

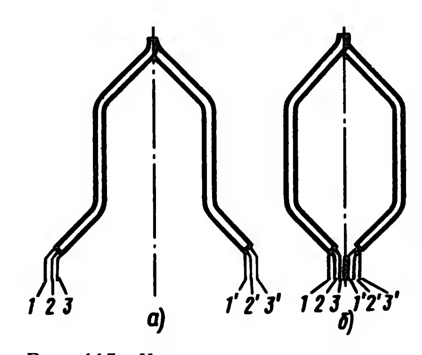


Рис. 115. Катушки якоря, состоящие из трех секций:
а — петлевой обмотки, *б* — волновой обмотки

нем — располагаются стороны нескольких секций. Это делается для того, чтобы уменьшить число пазов в якоре. Секции, стороны которых находятся в одних и тех же пазах, конструктивно объединяются в катушку обмотки, выводными концами которой являются выводные концы секций (рис. 115). Таким образом, катушка, состоящая, например, из трех секций, имеет три пары выводных концов: три начала и три конца каждой секции. Так как с коллектором соединяются все секции, то число коллекторных пластин больше числа пазов якоря: $K = u_п z$, где K — число пластин коллектора; $u_п$ — число секций в одной катушке или, что то же самое, число сторон секций, расположенных в одном слое паза якоря.

Катушки петлевой и волновой обмоток могут выполняться из круглого или прямоугольного провода. Обмотки из круглого провода укладываются в полузакрытые грушевидные пазы якорей машин мощностью до 20—30 кВт. Проводники, лежащие в верхнем и нижнем слоях паза, как и в двухслойных обмотках машин переменного тока, разделяются изоляционными прокладками (рис. 116, *а*).

Обмотку машин большей мощности делают из прямоуголь-

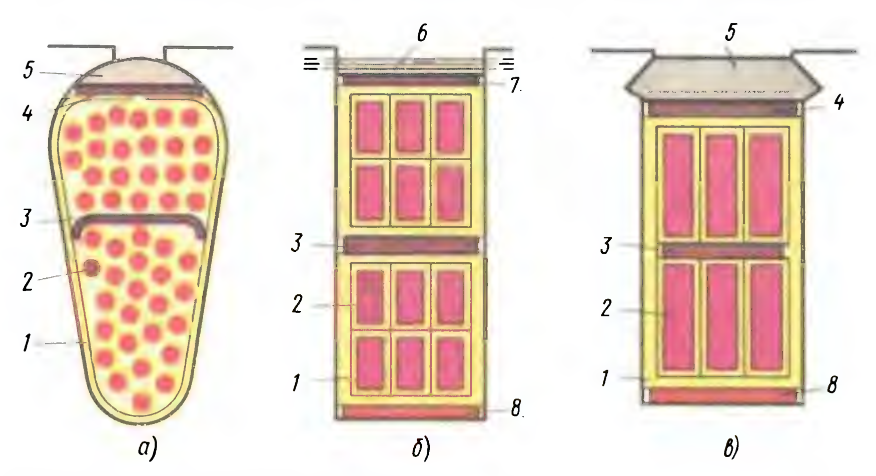


Рис. 116. Поперечные сечения пазов якоря:
а — с обмоткой из круглого провода, *б* — с катушечной обмоткой из прямоугольного провода, *в* — со стержневой обмоткой; *1* — корпусная изоляция, *2* — проводники обмотки, *3* — прокладка между слоями обмотки, *4* — прокладка под клин, *5* — клин, *6* — проволока бандажа, *7* — прокладка под проволочный бандаж, *8* — прокладка на дно паза

ного провода. Катушки, намотанные прямоугольным проводом, называют жесткими. Секции жесткой катушки состоят из одного (рис. 116, *в*) или нескольких витков (рис. 116, *б*). Одновитковые секции для упрощения их изготовления и укладки часто разделяют на два стержня и обмотку называют стержневой. Иногда обмотку из одновитковых секций также называют стержневой, несмотря на то, что она выполнена из цельных, неподразделенных на стержни секций.

В отличие от обмоток машин переменного тока проводники в пазах якоря располагаются большей стороной вдоль стенок паза (см. рис. 116, *б*). Проводники разных секций укладывают рядом друг с другом на одной высоте от дна паза, чтобы все секции имели одинаковое индуктивное сопротивление.

Пазовая изоляция охватывает одновременно все секции одной катушки. Иначе пришлось бы изолировать от корпуса пазовые части всех секций в отдельности, что привело бы к излишнему расходу дорогостоящей изоляции и к увеличению места в пазах для размещения этой изоляции.

Обозначение выводов, наиболее часто встречающихся в машинах постоянного тока обмоток, приведено в табл. 7.

Обозначения выводов должны быть выполнены так, чтобы при правом (по часовой стрелке) вращении якоря в режиме двигателя ток во всех обмотках протекал в направлении от начал обмоток (цифры 1) к их концам (цифры 2). Исключение составляет только обмотка последовательного возбуждения, если она включена как размагничивающая.

В машинах постоянного тока малой мощности добавочных полюсов, компенсационных обмоток, независимых обмоток воз-

Таблица 7. **Обозначение выводов обмоток машин постоянного тока**

Названия обмоток	Обозначения выводов			
	буквенные		цветовые	
	начало	конец	начало	конец
Обмотка якоря	Я1	Я2	Белый	Белый с черным
Компенсационная обмотка	К1	К2	—	—
Обмотка добавочных полюсов	Д1	Д2	—	—
Последовательная обмотка возбуждения	С1	С2	Красный	Красный с черным
Независимая обмотка возбуждения	Н1	Н2	—	—
Параллельная обмотка возбуждения	Ш1	Ш2	Зеленый	Зеленый с черным
Обмотка особого назначения	01,03	02,04	—	—

Примечание. Цветовые обозначения допускается применять при отсутствии достаточного места для нанесения буквенных обозначений.

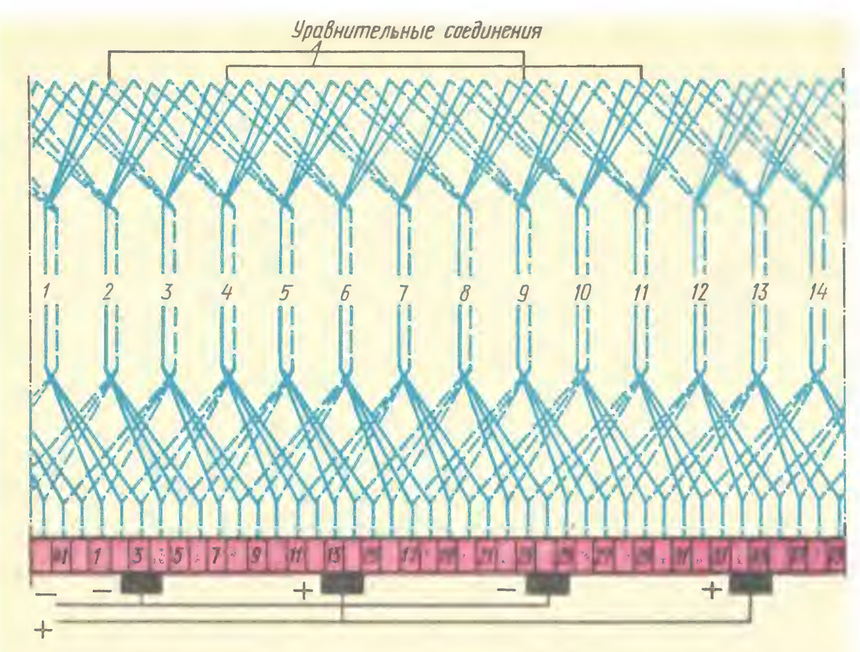


Рис. 117. Схема простой петлевой обмотки якоря с $Z=14$, $2p=4$, $K=42$

буждения и обмоток особого назначения не устанавливают. Поэтому в ГОСТе не предусматривается цветовых обозначений выводов обмоток.

Схемы обмоток якорей машин постоянного тока изображаются на чертежах так же, как и схемы машин переменного тока, т. е. в виде торцовых (вид со стороны коллектора) или развернутых схем. Наибольшее распространение получили развернутые схемы. Их изображение по сравнению со схемами обмоток статоров машин переменного тока имеет ряд особенностей.

Каждая катушка обмотки якорей машин постоянного тока состоит из нескольких секций и имеет столько пар выводных концов, сколько секций в ней содержится. Выводные концы секций соединены с разными пластинами коллекторов. Поэтому на схеме обмотки якоря нужно либо каждую секцию изображать отдельным многоугольником, либо показывать пазовые части секций, входящих в одну катушку, одной линией, так как они располагаются в одном пазу, а лобовые части каждой секции изображать отдельными линиями. Последний способ более употребителен. На рис. 117 дана развернутая схема простой петлевой обмотки, каждая катушка которой содержит три секции. Пазовые части катушки изображены одной сплошной или пунктирной линией в зависимости от положения в пазу, а в лобовых частях от каждой линии паза отходит три линии, обозначающие лобовые части секций, входящих в катушку. Начало и конец каждой секции соединяются с коллекторными пластинами.

Пазы и коллекторные пластины обязательно нумеруются, и на коллекторных пластинах показывают места расположения щеток.

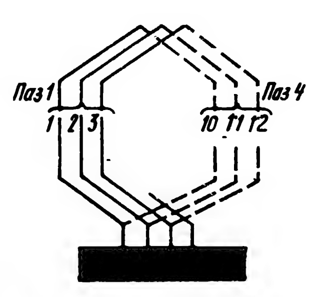


Рис. 118. Практическая схема простой петлевой обмотки с $u_п=3$, $y_1=9$

Схемы симметричных обмоток якоря состоят из ряда повторяющихся элементов, поэтому для укладки обмотки используют более простые так называемые практические схемы. В них отдельно вычерчивают секции только одной катушки: их расположение в пазах якоря и соединение с пластинами коллектора. На рис. 118 приведена практическая схема обмотки, развернутая схема которой показана на рис. 117. Три стороны секций, расположенные в верхнем слое 1-го паза, обозначены сплошными линиями, и три, лежащие в нижнем слое 4-го паза, — пунктирными. Остальные секции располагаются в пазах якоря и соединяются с коллектором точно так же, как показано на практической схеме.

Для изучения схем обмоток якорей значительно удобнее представлять их в условном виде, считая, что в каждом пазу располагается только по две стороны секций: одна — в верхнем, другая — в нижнем слое. Такие пазы называют элементарными; их число обозначают $Z_э$. Число сторон секций в одном слое реального паза обозначают буквой $u_п$, а число пластин коллектора — буквой K. Число элементарных пазов всегда равно числу реальных пазов якоря, умноженному на $u_п$, и числу пластин коллектора $Z_э = Zu_п = K$.

Так, например, на схеме (см. рис. 117) изображена обмотка с $Z = 14$ и $u_п = 3$, следовательно, число пластин коллектора и

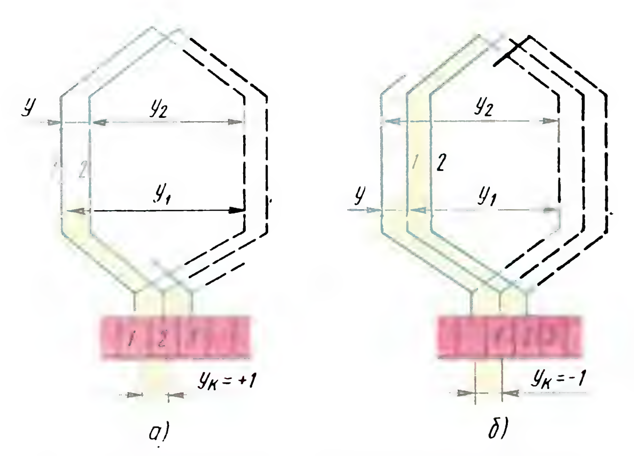


Рис. 119. Обозначения шагов в петлевых обмотках: *а* — при $y_к=+1$, *б* — при $y_к=-1$

число элементарных пазов и число секций в обмотке будет равно $Z_э = K = Zu_п = 14 \cdot 3 = 42$.

В обмотке якоря, так же как и в обмотке машин переменного тока, ширина катушки выражается шагом по пазам y_z. Кроме того, секции якоря (рис. 119) характеризуются первым y_1, вторым y_2, частичными и результирующим y шагами, которые выражаются в элементарных пазах. Все начала и концы секций соединяются с коллекторными пластинами, поэтому расстояние между началом следующих друг за другом по схеме обмотки секций называют шагом по коллектору $y_к$. Его выражают числом коллекторных пластин. Так как число пластин коллектора равно числу секций обмотки и числу элементарных пазов якоря, то числа, определяющие результирующий шаг и шаг по коллектору, совпадают, т. е. всегда $y = y_к$.

Соотношения между частичными и результирующим шагами зависят от типа обмоток, которые по направлению отгиба лобовых частей секций подразделяются на петлевые и волновые. Петлевые обмотки часто называют параллельными, а волновые — последовательными. Обмотки могут быть также простыми и сложными. Рассмотрим вначале схемы петлевых обмоток.

§ 42. ПРОСТЫЕ ПЕТЛЕВЫЕ ОБМОТКИ

Простая петлевая обмотка представляет собой как бы ряд последовательно соединенных друг с другом секций (петель), расположенных вдоль всей окружности якоря. Начала и концы секций соединяются с пластинами коллектора, к поверхности которого прижаты щетки. Места расположения щеток на коллекторе и их число зависят от числа полюсов машины. В двухполюсных машинах щетки располагаются друг против друга по диаметру коллектора. В четырехполюсной машине щетки располагаются через каждую четверть окружности коллектора, в шестиполюсной — через $^1/_6$ окружности, в машинах с $2p$ полюсами — через $1/(2p)$ часть окружности. Щетки имеют разную полярность «+» и «—». Все щетки одинаковой полярности соединяются друг с другом. При этом отдельные пластины коллектора оказываются соединенными между собой накоротко, а секции обмотки образуют несколько параллельных ветвей (рис. 120). Число параллельных ветвей простой петлевой обмотки всегда равно числу полюсов машины: в двухполюсной машине будет две параллельные ветви, в обмотке четырехполюсной машины — 4, в шестиполюсной — 6 и т. д. Число параллельных ветвей в обмотках машин постоянного тока обозначается $2a$. В простой петлевой обмотке всегда $2a = 2p$.

В простой петлевой обмотке результирующий шаг всегда равен единице, т. е. $y_к = y = y_1 - y_2 = \pm 1$.

В большинстве якорей $y_к = 1$ (рис. 119, *а*), так как при отрицательном шаге ($y_к = -1$) в лобовых частях секций полу-

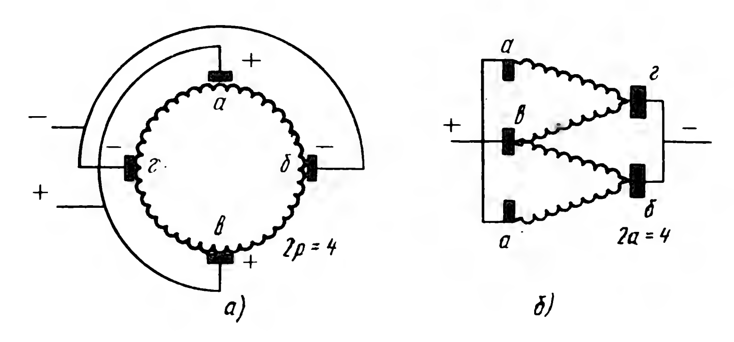


Рис. 120. Параллельные ветви в петлевой обмотке с $2p=4$:
а — положение щеток на коллекторе, *б* — подразделение обмотки на параллельные ветви

чаются дополнительные перекрещивания (рис. 119). Ширина катушки выбирается близкой к полюсному делению: $y_z \approx Z/2p$. Первый частичный шаг в большинстве случаев берут равным $y_1 = u_п y_z$. Тогда обмотка может быть выполнена из цельных катушек, каждая из которых содержит $u_п$ секций.

Рассчитаем шаги простой петлевой обмотки якоря со следующими данными: $Z = 37$; $2p = 4$; $u_п = 3$. Число элементарных пазов, равное числу коллекторных пластин: $Z_э = K = Zu_п = 37 \times 3 = 111$. Полюсное деление якоря $\tau = \frac{Z}{2p} = \frac{37}{4} = 9^1/_4$ выражается дробным числом пазовых делений. Шаг обмотки по пазам выбираем равным ближайшему к значению τ целому числу: $y_z = 9$, или (1—10). Шаг по коллектору простой петлевой обмотки $y_к = 1$. Шаги обмотки по элементарным пазам: $y_1 = y_z u_п = 9 \cdot 3 = 27$, или (1—28); $y = y_к = 1$, или (1—2); $y_2 = y_1 — y = 27—1 = 26$, или (1—27).

На практической схеме этой обмотки (рис. 121, *а*) видно, что стороны первых трех секций обмотки лежат верхними сторонами в 1, 2 и 3-м элементарных пазах, а нижними сторонами — в 28, 29 и 30-м пазах. Эти три секции образуют одну катушку обмотки, верхняя сторона которой располагается в 1-м реальном пазу якоря, а нижняя — в 10-м. Начало первой секции соединено с первой пластиной коллектора, конец первой и начало второй секций — со второй пластиной, конец второй и начало третьей — с третьей пластиной и т. д. С каждой пластиной соединяются выводы секций, находящиеся один в верхнем слое обмотки и один в нижнем слое на расстоянии шага $y_2 = 27$ элементарных пазов друг от друга.

Обмотку для того же якоря ($Z = 37$, $2p = 4$, $u_п = 3$) можно выполнить и с другим шагом y_1, например, равным $y_1 = 28$ (рис. 121, *б*). Тогда при $y = y_к = 1$ второй частичный шаг $y_2 = y_1 — 1 = 28—1 = 27$. В такой обмотке шаг секций по пазам якоря не будет выражаться целым числом пазовых делений $y_z = \frac{y_1}{u_п} = \frac{28}{3} = 9^1/_3$, поэтому секции будут иметь различные

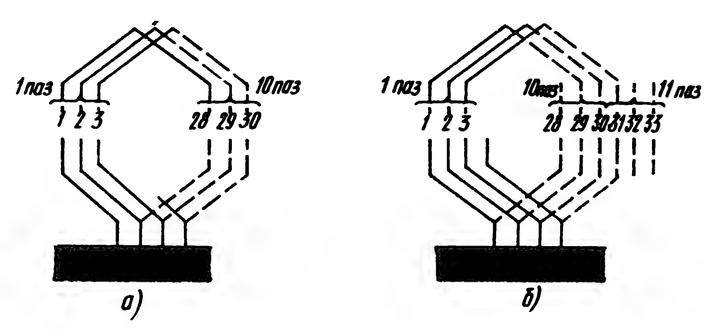


Рис. 121. Практические схемы обмотки якоря при $z=37$, $2p=4$: a — $y_1=27$, $б$ — $y_1=28$

шаги по пазам якоря. Обмотка получается ступенчатой. Эти секции нельзя объединять в одну катушку, поэтому такие схемы применяют только в стержневых обмотках, когда обмотка изготовляется из стержней, а соединения в лобовых частях производят после укладки обмотки в пазы якоря. 1-я и 2-я секции 1-го паза этой обмотки имеют шаг, равный девяти пазовым делениям. Их нижние стороны расположены в 10-м пазу. Шаг 3-й секции равен десяти пазовым делениям, и ее нижняя сторона помещена в 11-м пазу.

В стержневой обмотке с такой схемой 1, 2 и 3-й секций объединяются в один стержень, имеют общую корпусную изоляцию и укладываются в 1-й паз. Так же объединяются по три и нижние стороны секций, размещающиеся в 10-м и 11-м пазах якоря. Лобовые части стержней соединяют после укладки, как указано на схеме, чтобы они образовали секции с шагом по элементарным пазам $y_1 = 28$.

§ 43. УРАВНИТЕЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ПЕРВОГО РОДА

Распределение тока между параллельными ветвями любой электрической цепи зависит от эдс и сопротивлений этих ветвей.

Параллельные ветви петлевой обмотки образуются из нескольких последовательно соединенных секций, в каждой из них при работе машины наводятся эдс. Если эдс во всех параллельных ветвях будут абсолютно одинаковы, а сопротивления ветвей равны между собой, то токи в них также будут одинаковые. В реальной машине из-за допусков при штамповке и шихтовке сердечников и при сборке машины, неравномерности воздушного зазора под разными полюсами и из-за ряда других причин технологического характера всегда существует некоторая асимметрия магнитной цепи. Поэтому эдс, наводимые в секциях в разных параллельных ветвях, немного отличаются друг от друга. Сопротивления параллельных ветвей также несколько различаются между собой из-за различного качества паек мест соеди-

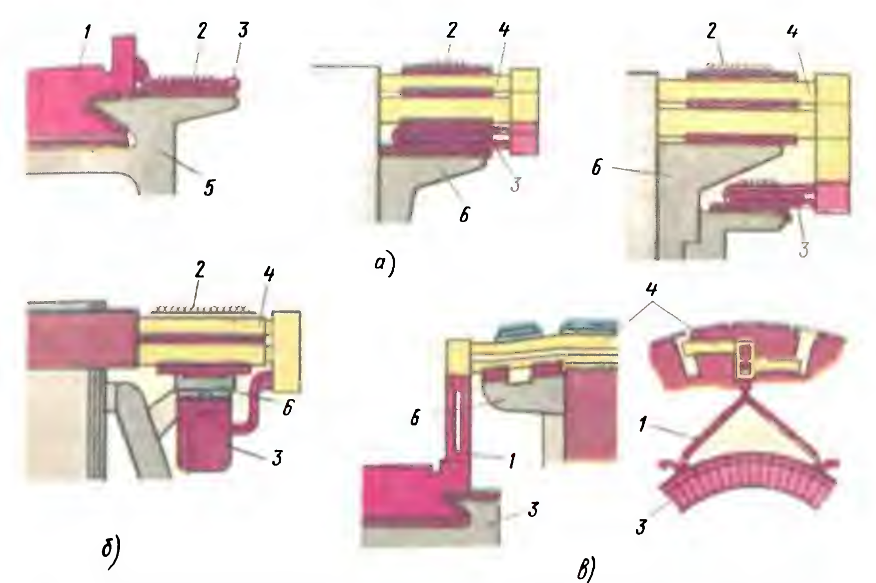


Рис. 122. Конструкция и способы установки уравнительных соединений первого рода:

а — вилочные, *б* — кольцевые, *в* — эвольвентные; *1* — пластины коллектора, *2* — бандаж, *3* — уравнительные соединения, *4* — лобовые части обмотки якоря, *5* — задний нажимной конус коллектора, *6* — обмоткодержатель

нений секций и коллектора. По этим причинам токи в параллельных ветвях петлевой обмотки якоря никогда не бывают абсолютно одинаковые, и между ветвями циркулируют уравнительные токи. Они замыкаются через скользящие контакты между щетками и поверхностью коллектора и перегружают их. При этом коммутация машины ухудшается, появляется искрение под щетками, пластины подгорают и коллектор быстро выходит из строя.

Чтобы разгрузить щеточные контакты от уравнительных токов, в якорях с петлевой обмоткой устанавливают уравнительные соединения первого рода. Уравнительные соединения — это изолированные проводники, которые соединяют точки обмотки, имеющие одинаковые потенциалы. Уравнительные соединения не уменьшают асимметрично обмотки и не способствуют уменьшению уравнительных токов, а лишь направляют их по безвредному для работы машины пути, обеспечивая нормальную работу щеточного контакта без перегрузки, создаваемой уравнительными токами.

В простой петлевой обмотке одинаковые потенциалы будут у всех секций, расположенных на расстоянии двойного полюсного деления друг от друга. Поэтому шаг уравнительных соединений равен $y_{ур} = K/p$. Наиболее удобные места для подсоединения уравнителей к секциям — это коллекторные пластины или головки лобовых частей секций.

В машинах общего применения чаще всего устанавливают по два-три уравнительных соединения на каждую пару параллельных ветвей или по одному уравнительному соединению на паз якоря, т. е. в 3—4 раза меньше, чем секций в обмотке.

На рис. 122 показаны различные конструкции и способы установки уравнительных соединений. Вилочные уравнительные соединения (рис. 122, *а*) либо впаиваются в торцы пластин коллектора со стороны якоря ниже места подсоединения выводных концов секций, либо подсоединяются к лобовым частям секций на противоположной от коллектора стороне. Они похожи на как бы отрезанные лобовые части катушек двухслойной обмотки с шагом $y_{ур} = K/p$. Уравнительные соединения такой конструкции устанавливают до начала укладки обмотки и надежно изолируют, так как после укладки обмотки доступ к ним невозможен.

На некоторых машинах устанавливают уравнительные соединения кольцевого типа (рис. 122, *б*). Они представляют собой кольца, расположенные под лобовыми частями якоря со стороны, противоположной коллектору. От каждого кольца отходят отпайки для соединения с лобовыми частями секций. Число отпаек на каждом кольце равно числу пар полюсов в машине, а число колец — числу секций в каждой параллельной ветви, соединенных уравнителями.

В крупных машинах постоянного тока, у которых диаметр якоря много больше диаметра коллектора, уравнительные соединения изгибают по эвольвенте (рис. 122, *в*) и используют одновременно для соединения обмотки якоря с коллектором.

§ 44. ПРОСТЫЕ ВОЛНОВЫЕ ОБМОТКИ

Ширина секции волновой обмотки примерно равна полюсному делению, так же как и в петлевых обмотках, но их лобовые части соединяются не с соседними пластинами коллектора, а с пластинами, расположенными друг от друга на расстоянии, близком к двойному полюсному делению. Поэтому лобовые части секции волновой обмотки отогнуты в разные стороны от оси секции (рис. 123). Результирующий шаг обмотки по элементарным пазам равен шагу по коллектору $y = y_к$, т. е. тоже близок к двойному полюсному делению. Напомним, что двойное полюсное деление, выраженное в коллекторных делениях, равно $2\tau_к = K/p$. Но в простой волновой обмотке шаг $y_к$ не может быть равен $2\tau_к$, он должен быть или немного больше, или немного меньше, чем двойное полюсное деление.

Если принять $y_к = 2\tau_к$, то при построении обмотки, сделав p шагов, т. е. столько шагов, сколько пар полюсов в машине, мы завершим полный обход по окружности якоря и коллектора, и конец последней секции попадет опять на ту же пластину коллектора, с которой соединено начало первой секции, так как

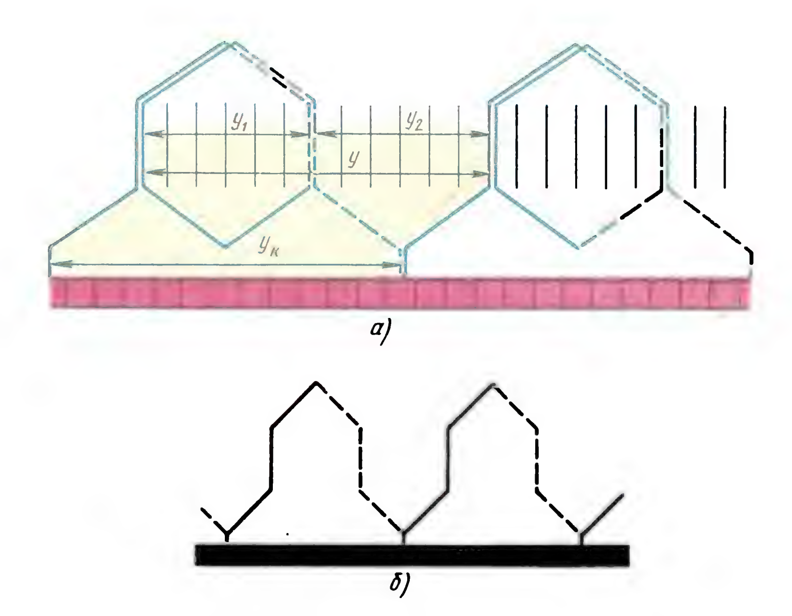


Рис. 123. Элементы схемы и обозначения шагов волновой обмотки якоря:

а — двухвитковые секции обмотки, *б* — часть схемы

$2\tau_к p = K$ и уложенные секции будут замкнуты сами на себя. Чтобы уложить все секции в пазы, их шаг по коллектору уменьшают или увеличивают так, чтобы после одного обхода (после p шагов) конец секции соединялся с пластиной коллектора, находящейся рядом с первоначальной, т. е. $y_к p = K \mp 1$. Из этого условия шаг простой волновой обмотки по коллектору должен быть $y_к = (K \mp 1)/p$. Знак минус в этой формуле ставится как основной, так как при знаке плюс после каждого полного обхода по окружности якоря (после каждых p шагов) концы секций соединятся с пластинами коллектора, следующими за первоначальными, так как $p y_к = K + 1$. Лобовые части секций перекрестятся между собой (рис. 124, *а*) и обмотка получится перекрещивающейся, так же как и петлевая обмотка с шагом по коллектору, равным $y_к = -1$.

При знаке минус конец последней в обходе секции соединяется с пластиной коллектора, предшествующей первоначальной, и лобовые части секций располагаются без перекрещиваний (рис. 124, *б*). Такая обмотка более удобна в технологическом отношении и более распространена в практике электромашиностроения.

В простой волновой обмотке число параллельных ветвей всегда равно двум и не зависит от числа полюсов в машине: $2a = 2$.

На рис. 125 изображена схема простой волновой обмотки, в которой для большей наглядности принято малое число пазов и коллекторных пластин $Z = K = 19$; $u_п = 1$; $2p = 4$. Выводные

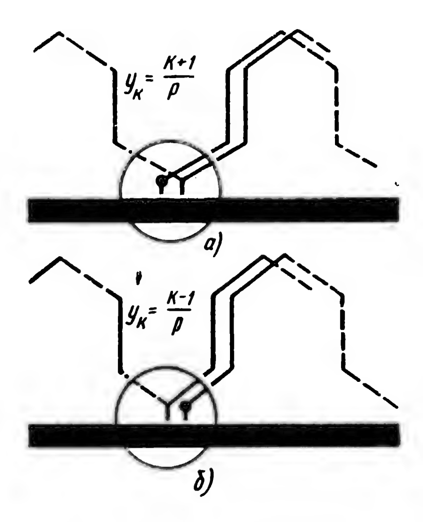


Рис. 124. Волновая обмотка:

а — перекрещивающаяся, *б* — неперекрещивающаяся

концы каждой секции обмотки соединяются в определенные моменты со щетками на коллекторе. Расстояние между одноименными щетками по поверхности коллектора такое же, как между началом и концом секции, поэтому при установке щеток обмотка соединяется в две параллельные ветви. На рис. 126, *а* показано, как образуются параллельные ветви простой волновой обмотки машины с $2p = 4$, а на рис. 126, *б* — с $2p = 6$. И в том и другом случае число параллельных ветвей в обмотке не меняется. Оно останется также равным двум и при других числах полюсов. Это является одной из основных особенностей простой волновой обмотки. В обмотке с $2a = 2$ нет точек с постоянными одинаковыми потенциалами, уравнительные токи не возникают и не требуется установки уравнительных соединений. Поэтому простая волновая обмотка в технологическом отношении проще, чем петлевая, и ее применяют поч-

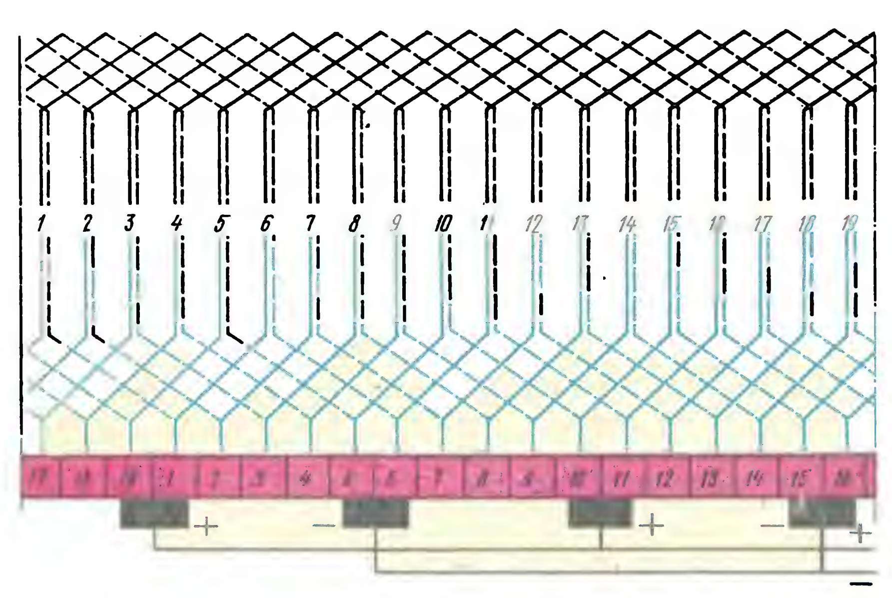


Рис. 125. Схема простой волновой обмотки якоря с $Z=19$, $u_п=1$, $K=19$

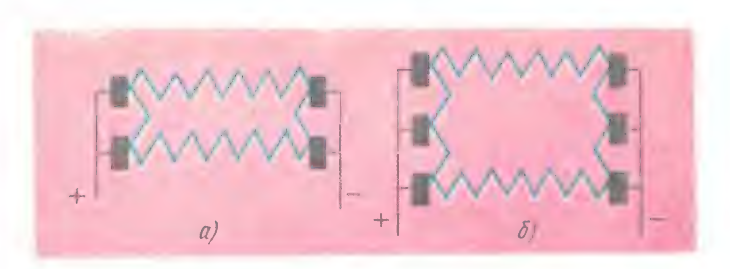


Рис. 126. Параллельные ветви в волновой обмотке якоря: *а* — при $2p=4$, *б* — при $2p=6$

ти во всех машинах малой и средней мощности, в которых ток не превышает 500—600 А, т. е. в каждой параллельной ветви остается меньше, чем 250—300 А.

Машина с волновой обмоткой якоря в отличие от машин с петлевой обмоткой может работать с неполным числом щеточных болтов. Если на схеме (см. рис. 126) удалить по одной из щеток разной полярности, то направление токов в каждой ветви не изменится. Это свойство волновых обмоток используют на практике в тех случаях, когда габариты машины не позволяют расположить на коллекторе полное число щеточных болтов, например, в ряде конструкций тяговых двигателей.

§ 45. НЕСИММЕТРИЧНЫЕ ВОЛНОВЫЕ ОБМОТКИ

Якори машин постоянного тока мощностью до 100—120 кВт почти всегда делают с простыми волновыми обмотками, так как в них не требуются уравнительные соединения. Но простые волновые обмотки могут быть выполнены симметричными только при определенном соотношении чисел пазов, полюсов и секций в каждом пазу, так как шаг обмотки по коллектору должен быть обязательно выражен целым числом коллекторных делений: $y_к = (K \mp 1)/p =$ целому числу. Поэтому если число пластин коллектора и число пар полюсов в машине четные, то $y_к$ — не целое число и обмотка не может быть выполнена симметричной.

В машинах средней мощности обычно $2p = 4$, т. е. $p = 2$ и простая волновая обмотка может быть выполнена только при условии, что число пластин коллектора равно нечетному числу. Следовательно, должны быть также нечетными число пазов якоря Z и число секций в пазу $u_п$, так как $K = Zu_п$.

Рассмотрим, как выполняется простая волновая обмотка в наиболее распространенных четырехполюсных машинах, в которых не удается разместить в пазах нечетное число сторон секций $u_п$. Примем, что по расчету в якоре машины с $2p = 4$ должен быть 31 паз и в каждом пазу четыре стороны секций ($u_п = 4$). Число коллекторных пластин в этом случае получается четным: $K = Zu_п = 31 \cdot 4 = 124$ и $y_к(K \mp 1)/p = (124 \mp 1)/2 \neq$ целому числу.

Изменение $u_п$ до ближайшего нечетного числа ($u_п = 3$ или $u_п = 5$) приводит к сильному (на 25%) уменьшению или увеличению числа всех витков обмотки якоря, что, как показывает расчет, для данной машины неприемлемо. В таких машинах выполняют волновую обмотку с «мертвой» секцией. Так называют обмотку, в которой число коллекторных пластин на единицу меньше, чем число секций в обмотке: $K = Z \cdot u_п - 1$, т. е. нечетное, так как $Z \cdot u_п$ — четно. Лишняя секция укладывается в пазы, но не соединяется с коллектором и не участвует в работе машины. Ее называют «мертвой». Шаги такой обмотки рассчитывают как для обычной волновой обмотки, так как число коллекторных пластин нечетно. В нашем примере $K = Zu_п - 1 = 31 \cdot 4 - 1 = 123$; $y_к = (K-1)/p = (123-1)/2 = 61$; $y_1 = 32$; $y_2 = 29$.

Шаг y_1 выбран равным 32, потому что при $y_1 = 30$ обмотка будет ступенчатой, так как $y_1/u_п = 30/4 \neq$ целому числу.

«Мертвую» секцию можно было бы вообще не укладывать в пазы якоря, но в этом случае нужно специально закреплять каким-либо образом стороны других секций, расположенные в этих пазах. Кроме того, отсутствие одной секции в обмотке нарушит равновесие якоря и вызовет его вибрацию при вращении. Поэтому в таких обмотках предпочтительнее уложить «мертвую» секцию в пазы, не нарушая общего технологического процесса. Выводные концы «мертвой» секции подрезают и изолируют. Остальные секции соединяют с коллекторными пластинами в обычном порядке. Чтобы уяснить, как располагается «мертвая» секция в пазах, рассмотрим схему волновой обмотки небольшого якоря (рис. 127), у которого $Z = 18$, $y_к = (18 \mp 1)/2 \neq$ целому числу, но коллектор выполнен с числом пластин на единицу меньше числа секций, т. е. $K = 18 - 1 = 17$. Поэтому шаг

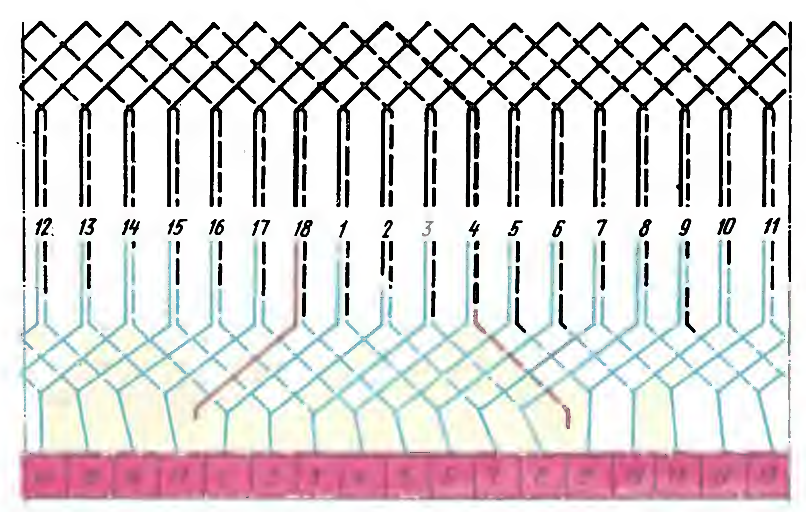


Рис. 127. Волновая обмотка с «мертвой» секцией с $Z = 18$, $u_п = 1$, $K = 17$

обмотки по коллектору взят равным $y_к = (17-1)/2 = 8$; $y_1 = 4$ и $y_2 = 4$. На схеме обмотки «мертвая» секция расположена в 18-м (верхняя сторона) и 4-м (нижняя сторона) пазах. Ее концы не присоединены к коллектору. Остальные секции соединены с пластинами коллектора по рассчитанным шагам. Наличие «мертвой» секции приводит к некоторой электрической асимметрии обмотки. При небольшом числе секций в якоре она более заметна, поэтому в практике волновые обмотки с «мертвой» секцией применяют лишь в якорях, число секций и коллекторных пластин которых около или более ста.

§ 46. СЛОЖНЫЕ ПЕТЛЕВЫЕ И ВОЛНОВЫЕ ОБМОТКИ

В простых петлевых обмотках число параллельных ветвей равно числу полюсов машины: $2a = 2p$. В машинах, номинальный ток якоря которых превышает несколько тысяч ампер, такого числа параллельных ветвей оказывается недостаточно, так как ток в каждой из них будет больше, чем допустимый для одной параллельной ветви. В таких машинах на якоре устанавливают сложную петлевую обмотку, число параллельных ветвей в которой больше, чем в простой.

Рассмотрим схему построения одной из сложных петлевых обмоток — двухходовую двукратнозамкнутую петлевую. Представим, что секции простой петлевой обмотки расположены не во всех элементарных пазах, а через один, и их выводные концы соединены с коллекторными пластинами также через одну. Результирующий шаг такой обмотки и шаг по коллектору $y = y_к = y_1 - y_2 = 2$, а не единице, как в простой обмотке. Если таким образом уложить и соединить все секции, то окажется, что в половине элементарных пазов секций не будет и половина пластин коллектора останется не соединенной с обмоткой (рис. 128). Так, если начать укладку с первого паза, то будут заполнены все нечетные пазы, а секции в них будут соединены только с нечетными коллекторными пластинами. В оставшиеся свободными пазы можно уложить вторую точно такую же обмотку и соединить выводные концы ее секций с четными пластинами коллектора (рис. 129). Таким образом, на якоре будут расположены как бы две простые петлевые обмотки, в каждой из которых по $2a = 2p$ параллельных ветвей. Общее число параллельных ветвей обмотки удвоится. Если первую простую

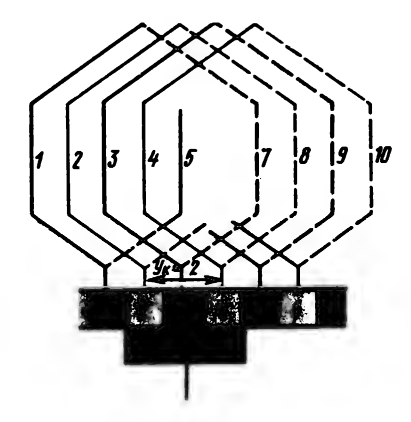


Рис. 128. Элемент схемы сложной двухходовой петлевой обмотки

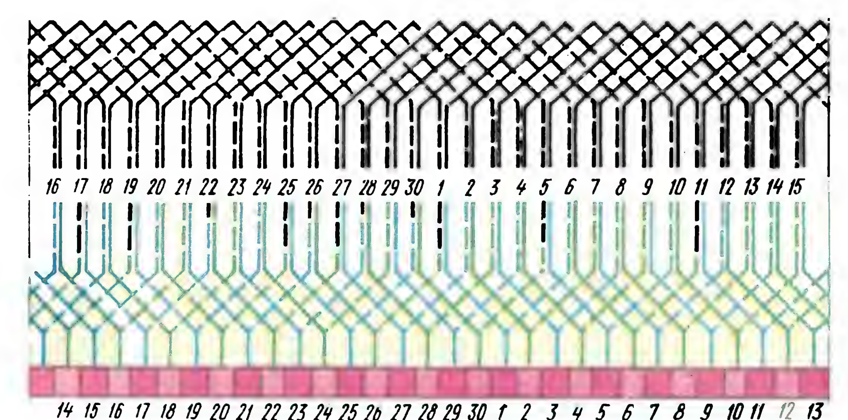


Рис. 129. Схема двухкратнозамкнутой сложной петлевой обмотки с $Z=30$, $2p=4$, $K=30$

обмотку укладывать так, чтобы остались свободными два, три или большее число пазов, и потом заполнить эти пазы секциями других простых обмоток, то результирующий шаг обмотки также будет равен двум, трем или большему числу. Во столько же раз возрастает и общее число параллельных ветвей. Такие обмотки часто называют множественными петлевыми. Число простых обмоток, из которых образована множественная обмотка, равно результирующему шагу по коллектору; его обозначают буквой m, а обмотку называют m-ходовой.

Следовательно, в сложных петлевых обмотках $y_к = y_1 - y_2 = m$, а число параллельных ветвей $2a = 2pm$. Чтобы все секции обмоток якоря работали одинаково, щетки на коллекторе должны одновременно замыкать пластины, соединенные с секциями всех обмоток, поэтому щетки делают более широкими, чем при простой петлевой обмотке.

Мы рассмотрели обмотку с $m = 2$ при четном числе пластин коллектора ($K = 30$). Если на коллекторе такой машины приподнять все щетки, то обмотка якоря разделяется на две замкнутые обмотки, электрически не соединенные друг с другом. Одна из них соединяется с четными, а другая — с нечетными пластинами коллектора. Такая сложная обмотка называется двукратнозамкнутой. Если же число пластин коллектора и элементарных пазов якоря будет нечетное, то положение изменится. Начав укладывать секции так же, как и раньше, через один элементарный паз, соединять их выводы через одну коллекторную пластину, мы, обойдя окружность якоря один раз, т. е. сделав один ход, не замкнем обмотку, а перейдем к оставшимся свободным пазам и коллекторным пластинам. Все пазы якоря будут заполнены после второго обхода. Так же произойдет и в обмотках с $y_к = m$, если число пластин коллектора не будет кратно m. В этом случае все пазы якоря будут заполнены после m обходов

и все секции обмотки окажутся соединенными между собой электрически независимо от наличия щеток на коллекторе. Обмотка будет однократнозамкнутой, но щетки, замыкая сразу несколько пластин коллектора, разделяют ее также на число параллельных ветвей, равное $2a = 2pm$, как и в предыдущей обмотке.

Волновые обмотки, так же как и петлевые, могут быть сложными. В сложных волновых обмотках шаг по коллектору изменяют с таким расчетом, чтобы после первого обхода по окружности (после первых p шагов обмотки) конец последней секции попал на коллекторную пластину, отстоящую от первой не на одно, а на несколько коллекторных делений: 2 — при двухходовой обмотке, 3 — при трехходовой и в общем случае на m коллекторных делений при m-ходовой обмотке. Шаг по коллектору сложной волновой обмотки $y_к = (K \mp m)/p$. Число параллельных ветвей в ней, так же как и в сложной петлевой обмотке, увеличивается в m раз, т. е. $2a = 2m$.

§ 47. УРАВНИТЕЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ВТОРОГО РОДА

Для нормальной работы машины постоянного тока напряжение между соседними коллекторными пластинами должно быть одинаковым на всем коллекторе. Это условие в якорях с простой петлевой или волновой обмоткой зависит в основном от качества пайки выводных концов к коллекторным пластинам, и при хорошем выполнении обмоточных работ практически всегда удовлетворяется. В якорях со сложными обмотками напряжение между соседними коллекторными пластинами может оказаться различным даже при хорошем выполнении пайки обмотки к коллектору из-за асимметрии магнитной цепи машины.

Рассмотрим, например, сложную петлевую обмотку с $m = 2$ (рис. 130). Секции первого хода обмотки соединены с пластинами *1, 3, 5* и т. д. Напряжение между этими пластинами в нормально выполненной обмотке будет одинаково: $U_{к13} = U_{к35} = \dots$. Секции второго хода обмотки соединены с четными пластинами коллектора: *2, 4, 6* и т. д. Напряжение между ними также будет одинаково $U_{к24} = U_{к46} = \dots$. Но напряжения между первой и второй пластиной $U_{к12}$, между второй и третьей пластиной $U_{к23}$ и т. д. могут оказаться неодинаковыми из-за различных причин, связанных с выполнением штамповочных и сборочных работ. При этом через щетку, замыкающую, например, 1-ю и 2-ю пластины, потечет уравнительный ток, что приведет к перегрузке щеточного контакта. Кроме того, уменьшение одного из напряжений, например между первой и второй пластиной ($U_{к12}$), приведет к увеличению напряжения $U_{к23}$, так как напряжение $U_{к13}$ не меняется. Это вызовет усиленное искрение под щетками и неблагоприятно отразится на работе коллектора. Чтобы этого не произошло, напряжение между соседними кол-

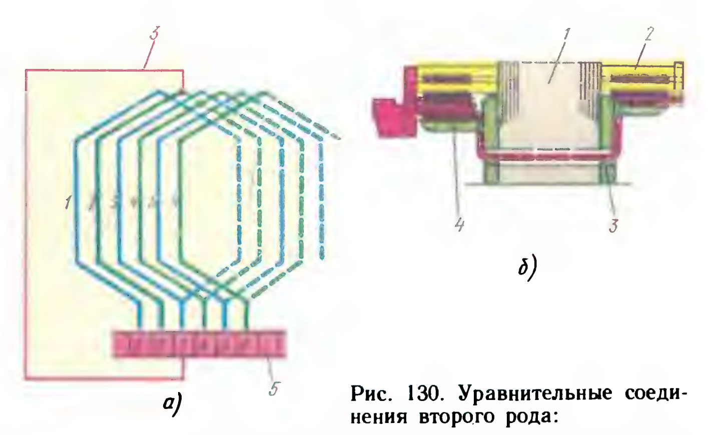


Рис. 130. Уравнительные соединения второго рода:

а — соединения в схеме обмотки, *б* — положение уравнительных соединений в якоре; *1* — якорь, *2* — обмотка якоря, *3* — уравнительные соединения второго рода, *4* — уравнительные соединения первого рода, *5* — пластина коллектора

лекторными пластинами искусственно выравнивают, добиваясь, чтобы $U_{к12} = U_{к23} = U_{к34}$ ... и т. д. Для этого каждую пластину коллектора соединяют со средней точкой секции, концы которой соединены с соседними пластинами (рис. 130, *а*). Такие соединения называют уравнительными соединениями второго рода.

Установка уравнительных соединений второго рода сопряжена с рядом технологических и конструктивных трудностей, так как лобовые части секций, которые нужно соединить с пластинами, находятся на противоположной от коллектора стороне якоря. Эти соединения выполняют изолированными проводами, пропущенными под сердечником через отверстия во втулке якоря или через осевые вентиляционные каналы якоря (рис. 130, *б*).

В сложных петлевых обмотках помимо уравнительных соединений второго рода необходимо устанавливать также и уравнительные соединения первого рода для каждой из простых обмоток, составляющих сложную.

Необходимость установки уравнительных соединений второго рода по тем же причинам возникает и в сложных волновых обмотках. При нечетном числе пар полюсов в машине их приходится выполнять так же, как и в сложных петлевых обмотках, т. е. соединять пластины коллектора с лобовыми частями секций, находящихся на стороне, противоположной коллектору. При четных числах пар полюсов уравнительные соединения второго рода в сложных волновых обмотках располагаются со стороны коллектора, соединяя коллекторные пластины с шагом $2K/p$.

§ 48. КОМБИНИРОВАННЫЕ (ЛЯГУШАЧЬИ) ОБМОТКИ

В якорях с петлевыми обмотками необходимо устанавливать уравнительные соединения; это значительно усложняет процесс укладки обмотки и приводит к дополнительному расходу обмо-

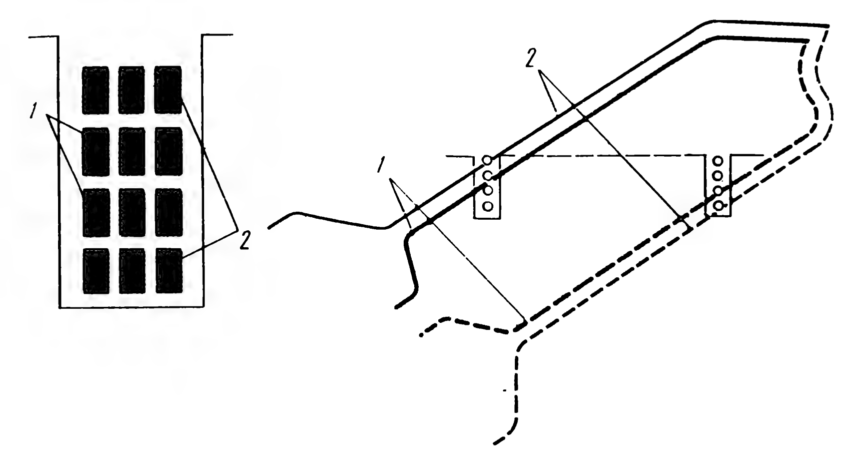


Рис. 131. Катушка лягушачьей обмотки:
1 — секция петлевой обмотки, 2 — секция волновой обмотки

точной меди. В то же время в машинах с большим током якоря не удается выполнить простые волновые обмотки, так как число параллельных ветвей в них равно только двум. Чтобы увеличить число параллельных ветвей и не устанавливать уравнительных соединений в машинах иногда применяют комбинированную обмотку, состоящую из секций волновой и петлевой обмоток. По виду (рис. 131) катушка такой обмотки несколько напоминает лягушку, поэтому обмотки получили название лягушачьих. В каждом пазу лягушачьей обмотки стороны секций располагаются в четыре слоя: стороны секций петлевой обмотки 1 — в средних, а волновой 2 — в нижнем и верхнем слоях. К каждой коллекторной пластине присоединены четыре выводных конца секций — два волновой и два петлевой.

Лягушачья обмотка представляет собой параллельное соединение волновой и петлевой обмоток, поэтому и в той и в другой обмотке должно быть одинаковое число проводников и параллельных ветвей. Так как в петлевой обмотке число параллельных ветвей $2a_п = 2pm_п$, а в волновой $2a_в = 2m_в$, то волновая обмотка должна быть обязательно сложной. Если лягушачья обмотка строится на базе простой петлевой обмотки ($2a_п = 2p$), то волновая обмотка должна быть $m_в = p$ ходовой, тогда $2a_в = 2m_в = 2p$, как и в петлевой. Так, для четырехполюсной машины с лягушачьей обмоткой петлевая имеет четыре параллельные ветви, а волновая должна быть двухходовой, тогда в ней также будет $2a_в = 2m_в = 2 \cdot 2 = 4$ параллельные ветви. Общее число параллельных ветвей всей обмотки якоря в этом случае будет $2a = 2a_п + 2a_в = 4 + 4 = 8$.

В более сложных лягушачьих обмотках за базовые принимают сложные петлевые обмотки, имеющие $2a_н = 2pm_п$ параллельных ветвей. В этих случаях волновые обмотки должны быть

выполнены с $2a_в = 2pm_п$ параллельными ветвями, т. е. число ходов волновой обмотки должно равняться $m_в = pm_п$.

Несмотря на то что лягушачья обмотка состоит из сложной или простой петлевой и обязательно из сложной волновой обмоток, в ней не нужно устанавливать никаких уравнительных соединений. Секции петлевой и волновой обмоток соединяют все точки равного потенциала, т. е. как бы заменяют уравнительные соединения и первого и второго родов. Поэтому ее проще и дешевле изготовлять, чем сложную петлевую обмотку, и в то же время она образует большое число параллельных ветвей, необходимое для машин с большими токами якоря.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Из каких элементов состоит катушка обмотки якоря и сколько выводных концов она имеет?

2. Чем различаются катушки петлевой и волновой обмоток якоря машины постоянного тока?

3. Какими буквами или цветами обозначаются выводы обмотки якоря и обмоток параллельного и последовательного возбуждения в машинах постоянного тока?

4. Чему равен шаг по коллектору простой петлевой обмотки?

5. Сколько пластин коллектора должно быть в якоре с $Z = 27$ и $u_п = 3$?

6. Зачем в якорях с простой петлевой обмоткой устанавливают уравнительные соединения первого рода?

7. Как рассчитать шаг по коллектору простой волновой обмотки?

8. Сколько параллельных ветвей имеют простые петлевые и волновые обмотки?

9. В каких случаях приходится делать простую волновую обмотку с «мертвой» секцией? Зачем ее укладывают в пазы?

10. Какую обмотку называют лягушачьей и в каких случаях ее применяют?

ГЛАВА X

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КАТУШЕК ОБМОТКИ ЯКОРЯ

§ 49. ИЗГОТОВЛЕНИЕ КАТУШЕК ЯКОРЯ ИЗ КРУГЛОГО ПРОВОДА

Обмотка из круглого провода применяется в якорях машин постоянного тока мощностью не выше 20—30 кВт и при напряжении до 600 В. Пазы якорей делают полузакрытые грушевидные (см. рис. 116, *а*). Обмотка укладывается механизированным способом на автоматических или полуавтоматических обмоточных станках. Обмоточный провод сматывается непосредственно с бухт без предварительной намотки заготовок катушек. В более крупных машинах при ручной укладке обмотки сначала наматывают катушки якоря на шаблоны, имеющие такую же конструкцию, как и шаблоны для всыпной обмотки статоров (см. рис. 48).

Катушки якоря состоят из нескольких секций, имеющих одно и то же число витков и одинаковые размеры, поэтому на шаблон наматывают не каждую секцию поочередно, а все секции одной катушки сразу. Обмоточный провод при этом сматывается с нескольких бухт. Например, если в катушке содержится три секции по пять витков в каждой, то на шаблон подают одновременно три провода с трех бухт и делают пять оборотов шаблона. Если витки обмотки должны быть намотаны из нескольких параллельных проводов, то число бухт соответственно увеличивают. Когда катушка наматывается одновременно с нескольких бухт, необходимо обеспечить одинаковое натяжение провода с каждой из них. Для этой цели применяют направляющие и натяжные приспособления. В направляющих устройствах провода со всех бухт, расположенных либо рядом друг с другом, либо на различной высоте, выравниваются и поступают в натяжное устройство.

При одновременной намотке нескольких секций концы каждой из них маркируют, чтобы правильно соединить уложенную обмотку с коллекторными пластинами. Для этой цели на выводные концы секций надевают трубки из изоляционного материала разных цветов.

В обмотке из круглого провода положение проводников каждой секции в пазу заранее не определено. Поэтому после намотки катушек проводники всех секций скрепляют в один пучок, но так, чтобы они располагались параллельно друг другу без перекрещиваний во избежание возможного повреждения проводниковой изоляции при укладке в пазы.

Секции обмотки якоря состоят из небольшого числа витков, поэтому время намотки катушки меньше, чем время, необходимое для снятия намотанной катушки с шаблона, сборки шаблона и закрепления на оправке концов новой катушки. Чтобы ускорить намоточные работы, обычно используют не один шаблон, а несколько, собранных на одном шпинделе станка. В этом случае после окончания намотки одной катушки ее витки закрепляют лентой, выпускают петли проводов и приступают к намотке следующей катушки на другом шаблоче, не отрезая проводов. Намотанные катушки снимают с оправок, поочередно разбирая шаблоны.

§ 50. ИЗГОТОВЛЕНИЕ КАТУШЕК ЯКОРЯ ИЗ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ПРОВОДА

В якорях машин мощностью более 20—30 кВт (в некоторых сериях более 12—15 кВт) применяют обмотку из прямоугольного провода. Ее укладывают в прямоугольные пазы якоря. Положение каждого проводника в пазу определено заранее (см. рис. 116, *б, в*). Проводники одной секции расположены друг над другом, а стороны разных секций в пазу — одна рядом с другой.

Намотка катушек производится на шаблонах, по своей кон-

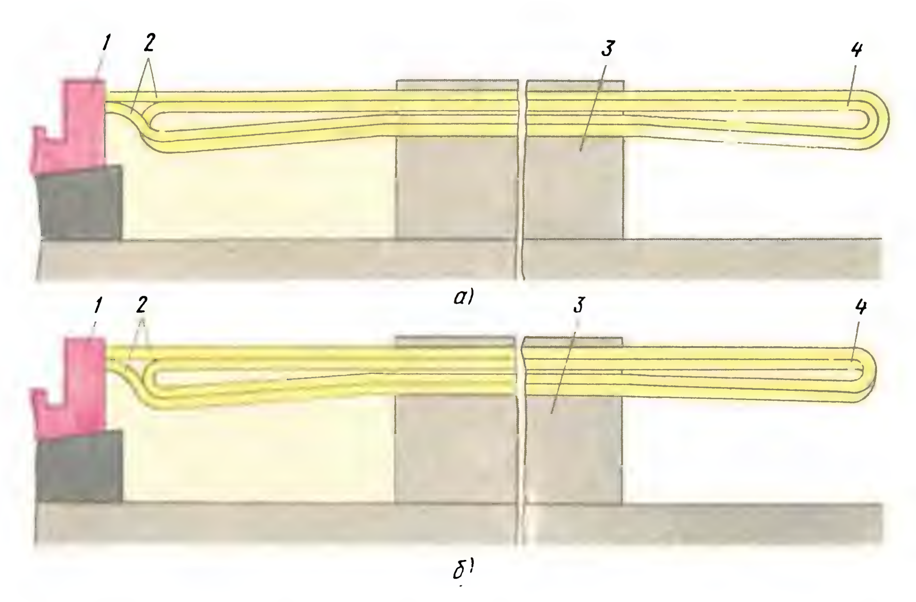


Рис. 132. Расположение выводных концов двухвитковых секций обмотки якоря: *а* — с одинарной головкой, *б* — с двойной головкой; *1* — пластины коллектора, *2* — выводные концы секций, *3* — якорь, *4* — головки секций

струкции аналогичных шаблонам для намотки катушек обмотки статора из прямоугольного провода (см. рис. 78). Чтобы проводники в катушке плотно прилегали друг к другу, на шаблон должны одновременно укладываться витки всех секций, составляющих одну катушку. Так, если катушка состоит из трех или четырех секций, то наматывают одновременно провода с трех или соответственно с четырех бухт. Во время намотки обмоточные провода необходимо подправлять и подбивать молотком, ударяя им через прокладку, особенно осторожно на закруглениях шаблона. Подбивать нужно одновременно провода всех секций, поэтому ширина прокладки должна быть равна ширине желоба шаблона.

Шаблон для намотки устанавливают на шпинделе намоточного станка, обеспечивающего медленное вращение шаблона с большим усилием. Станок снабжен тормозом для мгновенной остановки шпинделя в любом положении. Секции обмотки из прямоугольного провода обычно состоят из одного, двух и реже трех витков. Выводные концы двух- и трехвитковых секций, намотанных обычным способом — с одинарной головкой, после укладки в пазы располагаются один в верхней части паза, а другой — в верху нижнего слоя обмотки, т. е. в средней по высоте части паза (рис. 132, *а*). Это затрудняет их соединение с коллектором, так как выводной конец, выходящий из средней части паза, надо дополнительно изгибать, чтобы подвести его к коллекторной пластине и пропускать между другими проводниками

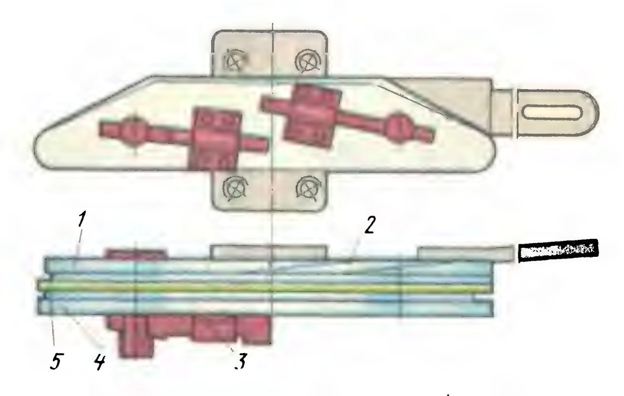


Рис. 133. Шаблон для намотки катушек с двойной головкой:

1 — задняя щека, *2* — наклонный паз, *3* — скобы для зажимных клиньев, *4* — передняя щека, *5* — средняя перегородка

в лобовых частях. Чтобы упростить процесс соединения с коллектором, секции с двумя и с большим числом витков наматывают таким образом, чтобы один выводной конец оказался в верхней части паза, а другой — в нижней. Для этого провода в головке катушки со стороны, противоположной коллектору, перекрещивают. Витки в этих головках располагаются рядом друг с другом, образуя как бы двойную головку, и такие секции называют секциями с двойной головкой (рис. 132, *б*). Перекрещивание проводов выполняют при намотке на шаблоне. В местах перехода проводников из одного ряда в другой устанавливают дополнительную изоляцию, что является значительно более надежным, чем с перекрещиванием проводников лобовых частей.

Для намотки катушек с двойной головкой пользуются специальными шаблонами (рис. 133). Они отличаются от обычных шаблонов тем, что с одной стороны имеют один желоб для укладки головки катушки, а с другой — два. Первый виток наматывается как обычно на сердечник шаблона. При намотке второго витка провод по наклонно прорезанному пазу переходит на другую головку, после чего опять по такому же пазу возвращается в желоб шаблона и накладывается на провод первого витка. В местах перехода провода ко второй головке устанавливают дополнительную изоляцию. Каждая головка катушки сначала изолируется отдельно, потом между ними устанавливают изоляционные прокладки и обе головки вместе оплетают ленточным изоляционным материалом. В двухвитковых секциях двойная головка получается ровной. При трех витках в секции вторая головка образуется только у последнего витка и лобовая часть становится несимметричной. Из-за того что ширина катушек с двойной головкой больше, чем обычных, они не могут поместиться на обмоткодержателях якорей малых диаметров. Катушки с двойной головкой применяют в якорях с диаметром более 150 мм.

В двух- и трехвитковых секциях устанавливают прокладки между витками. В машинах мощностью более 100 кВт для увеличения надежности средние секции паза изолируют лентой. Так, например, если в катушке содержится три секции, то средняя секция изолируется лентой по всему периметру и в пазовой, и в лобовой частях вполнахлеста. При нагревостойкости классов В и F для изоляции секции применяют стеклянную ленту ЛЭС толщиной 0,1 мм, при изоляции класса Н — ленту из полиамидной пленки ПМ толщиной 0,05 мм.

Перед тем как снять намотанные катушки с шаблона, все проводники в пазовой и лобовой частях скрепляют лентой. После этого заготовки поступают на прессовку пазовых частей и на растяжку. Все секции, составляющие одну катушку, опрессовываются и растягиваются одновременно. Растяжные станки имеют такую же конструкцию, как и для катушек статоров машин переменного тока. Катушки растягивают до нужной ширины и одновременно их пазовым сторонам придают необходимый взаимный наклон, соответствующий положению катушек в пазах якоря, так же, как это делалось для жестких катушек обмотки статоров. Окончательную форму катушки получат после изгибания их лобовых частей на гибочных приспособлениях. Катушки располагаются так, чтобы их лобовые части входили в желоба приспособления, один из которых предназначен для верхней стороны катушки, а другой — для нижней. Фигурный пуансон гибочного приспособления входит в желоба и изгибает одновременно обе лобовые части катушки. Готовая катушка поступает на изолировочный участок.

Корпусная изоляция катушек может быть гильзовая или непрерывная в зависимости от мощности машины, напряжения и типа обмотки. Гильзовая изоляция обмоток с небольшой длиной пазовой части в машинах на напряжение до 600 В делается мягкой, незапеченной. Мягкую гильзу изготовляют из гибкого листового материала. В зависимости от класса нагревостойкости изоляции применяют гибкий миканит, гибкий стекломиканит или слюдопласт.

Технологический процесс изготовления гильзовой изоляции такой же, как и для жестких катушек обмотки статоров машин переменного тока.

При непрерывной изоляции и пазовую и лобовую части катушки изолируют ленточным материалом в несколько слоев вполнахлеста. Для изоляции используют стекломикаленты или стеклослюдинитопластовые ленты для класса изоляции В и полиамидную пленку ПМ для классов изоляции F и Н. Для защиты от механических повреждений на слои основной изоляции накладывают один слой вполнахлеста или впритык стеклянной ленты или для классов изоляции F и Н — фениловой бумаги.

Обмотку якоря после укладки пропитывают лаками МЛ-92 и МГМ-8 при классах нагревостойкости изоляции В и F или кремнийорганическими лаками КО-916к при классе Н.

В последние годы для пропитки обмоток якорей машин, работающих в тяжелых условиях, например тяговых двигателей электровозов, применяют компаунды на основе эпоксидных смол. Обмотку таких якорей наматывают проводом ПСД. Пропитку производят после укладки обмотки в пазы якоря.

§ 51. ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОДНОВИТКОВЫХ ОБМОТОК ЯКОРЯ

Одновитковыми называют обмотки якорей, имеющие один виток в секции. В большинстве машин секции одновитковой обмотки выполняются цельными, но могут быть образованы двумя стержнями, которые соединяются между собой в головках на противоположной от коллектора стороне после укладки обмотки в пазы якоря. Обмотку наматывают из обмоточного провода большого поперечного сечения. В пазу якоря проводники секций располагаются своей широкой стороной параллельно боковым сторонам паза (см. рис. 116, *в*), поэтому в головках их необходимо выгибать на ребро. Причем изгибают одновременно все секции, из которых состоит одна катушка, иначе они не будут плотно прилегать друг к другу по всей длине пазовых и лобовых частей. Изгиб на ребро сразу нескольких проводников требует значительно больших усилий, чем изгиб на широкую сторону, поэтому изгибание цельных секций стержневой обмотки производится в два приема. Сначала на гибочных станках (рис. 134) выгибают только головки секций.

Проводники секций, составляющих одну катушку, закладываются плашмя в паз между оправкой *5* и подвижной планкой *6*. Торцы проводников упираются в передвижной упор *1*, положение которого регулируется в зависимости от их длины. Оправка имеет округленную поверхность с радиусом, равным радиусу закругления головки секции. Подвижная планка соединена с горизонтально расположенным пневматическим цилиндром *7*. Проводники после установки в станок прижимаются ко дну паза верхней плитой *3* с помощью винта *2*. В цилиндр подается сжатый воздух, и подвижная планка *6* зажимает все проводники с боковой поверхности. Для изгиба проводников включают электродвигатель *4*, который через систему червячных передач поворачивает вал и шестерню с выступающим роликом *8*. Ролик упирается в поворотный клин *9*, изгибает пакет проводов вокруг оправки *10* на 180°. Так как пазовая прямолинейная часть проводов зажата плитами в вертикальной и горизонтальной плоскостях, а в месте изгиба проводники находятся между верхней и нижней плитой, то головки изгибаются строго на ребро без перекоса.

Лобовые части секций изгибаются и формуются на других гибочных приспособлениях (рис. 135). Выгибают одновременно проводники всех секций, образующих одну катушку, так же, как

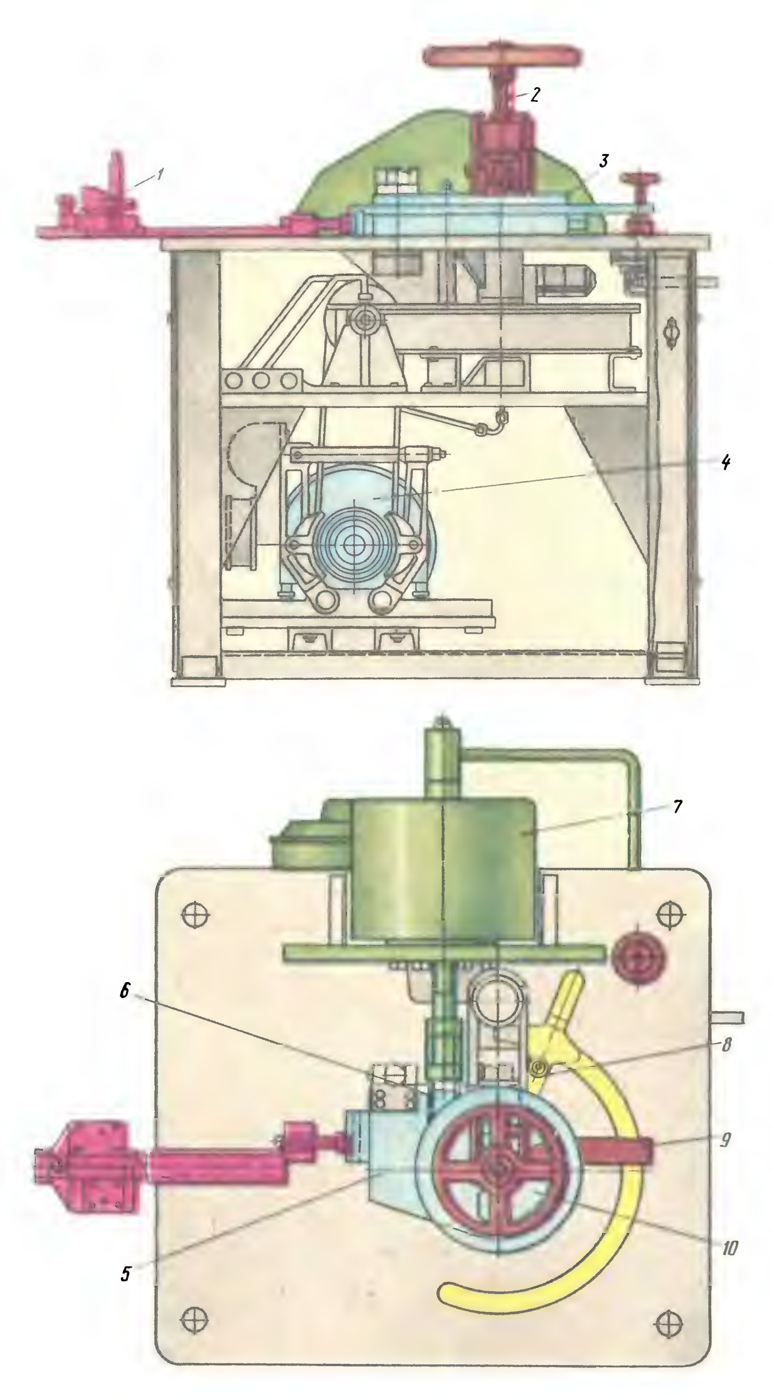


Рис. 134. Станок для выгибания головок одновитковых катушек

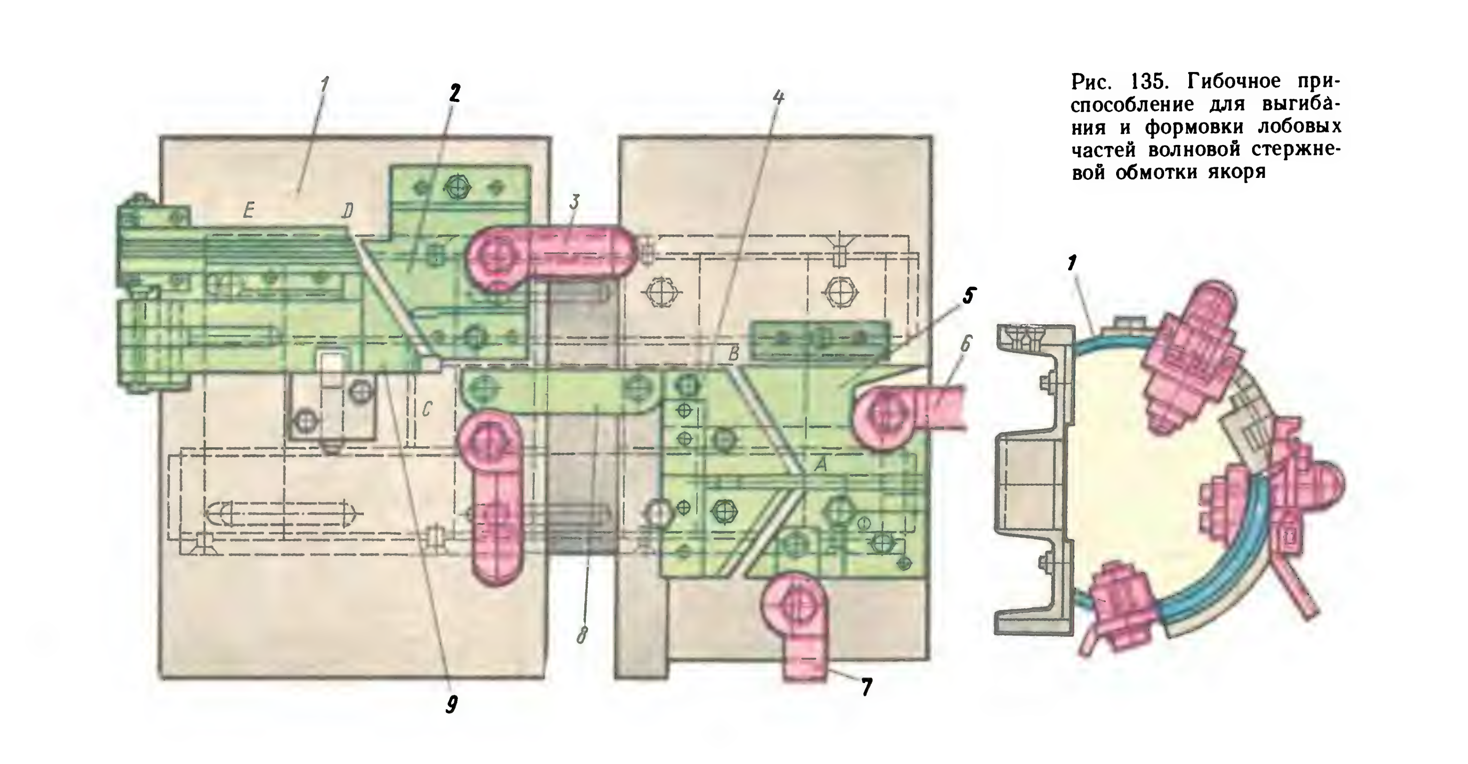


Рис. 135. Гибочное приспособление для выгибания и формовки лобовых частей волновой стержневой обмотки якоря

и при изгибании головок. Приспособление имеет цилиндрическую поверхность *1* с радиусом, равным радиусу якоря. Сменные планки *2, 4, 5, 8* и *9* подбирают по размерам пазовой и лобовых частей секции. Головки всех секций устанавливаются в паз между планками *4* и *5* и зажимаются эксцентриками *6* и *7*. Ударами деревянного молотка формуется лобовая часть — участок *AB*. Весь пакет проводников вручную изгибается и устанавливается вдоль планки *8* — участок *BC* (пазовая часть). Далее отгибается вторая лобовая часть — участок *CD*. Она формуется и зажимается одновременно с пазовой частью при повороте эксцентрика *3*. Последними отгибаются и выравниваются концы секций — участок *DE*. На описанном приспособлении можно изгибать и формовать верхние стержни обмотки. Нижние стержни или вторую половину цельных одновитковых секций изгибают и формуют на другом таком же приспособлении с несколько измененными размерами лобовых частей.

Для изготовления одновитковых обмоток применяют прямоугольный изолированный медный провод ПСД (при классах нагревостойкости изоляции В и F) или ПСДК (при классе нагревостойкости Н). Секции, находящиеся в середине катушки, для повышения надежности через одну дополнительно изолируют одним слоем непрерывной изоляции вполнахлеста.

Пазовая изоляция выполняется либо мягкой гильзой из гибкого миканита, либо непрерывной изоляцией из стеклослюдопластовой ленты или полиамидной пленки, намотанной вполнахлеста в несколько слоев. Изоляция лобовых частей всегда непрерывная из ленточного материала соответствующего класса нагревостойкости.

В якорях некоторых машин высота проводников в пазу по расчету должна быть большой. Ток в обмотке якоря переменный и при большой высоте проводников в них проявится эффект вытеснения тока, что приведет к увеличению потерь в обмотке. Чтобы избежать этих потерь, когда высота проводников превышает определенную для данной частоты тока якоря критическую высоту, проводники разделяют по высоте на два, и каждую пару проводников в лобовых частях соединяют параллельно. В этом случае технологический процесс изготовления обмотки усложняется, так как в гибочные приспособления необходимо закладывать одновременно все проводники, образующие секцию или стержень обмотки.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Чем отличается процесс намотки катушек обмотки якоря из круглого провода от намотки катушек обмотки статора?

2. Как наматывают катушки якоря из прямоугольного провода?

3. Зачем делают двойную головку в катушках обмотки якорей из прямоугольного провода?

4. Как устроен шаблон для намотки катушек с двойной головкой?

5. На каких приспособлениях и как изгибают лобовые части одновитковых секций обмотки якоря?

ГЛАВА XI

УКЛАДКА ОБМОТКИ ЯКОРЯ

§ 52. ПОДГОТОВКА ЯКОРЯ К УКЛАДКЕ ОБМОТКИ

Якорь (рис. 136) поступает на обмоточный участок в собранном (кроме обмотки) виде, т. е. с напрессованными на вал *6* сердечником *4*, коллектором *1* и обмоткодержателями *3* и *5*. Перед укладкой обмотки *2* следует установить якорь на стойки, проверить его сердечник и коллектор. Особое внимание нужно обратить на состояние внутренней поверхности пазов, на которой не должно быть выступающих кромок листов стали и заусенцев. Обнаруженные дефекты необходимо устранить. Коллектор необходимо проверить на отсутствие замыканий между коллекторными пластинами. Для этой цели используют контрольную лампу: подсоединяют ее щупы поочередно к каждой паре соседних коллекторных пластин. После окончания осмотра и устранения обнаруженных неисправностей внутреннюю поверхность пазов якоря и обмоткодержатели покрывают слоем быстровысыхающего лака. Когда лак подсохнет, приступают к изолированию обмоткодержателей.

Обмоткодержатель со стороны коллектора имеет цилиндрическую поверхность. Его изолируют двумя-тремя слоями гибкого нарезанного полосами материала (миканита, стекломиканита), нагревостойкость которого соответствует классу нагревостойкости изоляции обмотки. Для закрепления полос предварительно на щеткодержатель наматывают несколько витков стеклянной ленты и, продолжая ее намотку, подкладывают под витки полосы изоляционного материала. Сверху изоляцию закрепляют той же лентой, намотанной во всю ширину обмоткодержателя.

Наружная поверхность обмоткодержателя, находящегося с противоположной от коллектора стороны, имеет небольшой конус для лучшего размещения лобовых частей обмоток. Его изолиру-

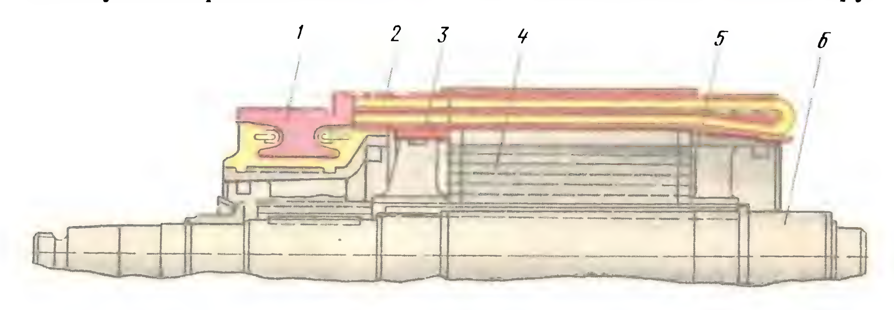


Рис. 136. Якорь машины постоянного тока

ют следующим образом. Обмоткодержатель обертывают полосой, вырезанной из стеклянного полотна, ширина которого в два раза больше, чем ширина обмоткодержателя. Полосу закрепляют от сползания бандажом, который наматывают так, чтобы он прижал стеклоткань ко дну канавки на обмоткодержателе. После этого укладывают узкие полосы листового изоляционного материала и прижимают их стеклянной лентой по всему периметру обмоткодержателя. Полосы накладывают внахлест. Если используются широкие полосы гибкого миканита или стекломиканита, то на стороне, соприкасающейся со стороной обмоткодержателя с меньшим диаметром, необходимо сделать поперечные надрезы, иначе изоляция соберется складками и может поломаться. Ленту, закрепляющую слои миканита, не обрезают. Под нее заворачивают свисающие края стеклянного полотна и, продолжая намотку, закрепляют его снаружи витками ленты.

Число слоев изоляции обмоткодержателей задается в чертеже, наружная поверхность изолированных обмоткодержателей должна находиться на уровне дна пазов якоря. Если это нарушено, то обмотчик должен выяснить причину и устранить неправильность. Укладывать обмотку в такой якорь нельзя, так как это может привести к излому изоляции катушек в местах их выхода из пазов.

После изолирования обмоткодержателей приступают к разметке якоря.

§ 53. ПОРЯДОК РАЗМЕТКИ ЯКОРЯ ПОД УКЛАДКУ ОБМОТКИ

Положение пластин коллектора относительно пазов якоря определяется при разработке конструкции машины. При сборке якоря оно фиксируется взаимным расположением шпоночных канавок сердечника якоря и коллектора. Укладку обмотки якоря надо начинать со строго определенного паза, а не с произвольно выбранного, как в статорах и роторах машин переменного тока, иначе щетки придется смещать с предназначенного для них места вдоль окружности коллектора.

Признаками, по которым определяется первый паз, являются либо совпадение его оси симметрии с серединой одной из коллекторных пластин, либо совпадение оси паза с изоляцией между коллекторными пластинами. Один из этих признаков, чаще первый, указывается в технической документации. В ней же дается номер коллекторной пластины, соответствующий первому пазу, например, против первого паза находится двенадцатая пластина коллектора.

Первый паз обмотчик вначале определяет приближенно — «на глаз», после чего правильность выбора необходимо проверить с помощью шаблона (рис. 137). Шаблон состоит из стоек *2* и *4*, призмы *1*, стержня *5* и передвижной чертилки *3*. Он выполнен так, что середина его стержня, острие чертилки и ось призмы на стойке на-

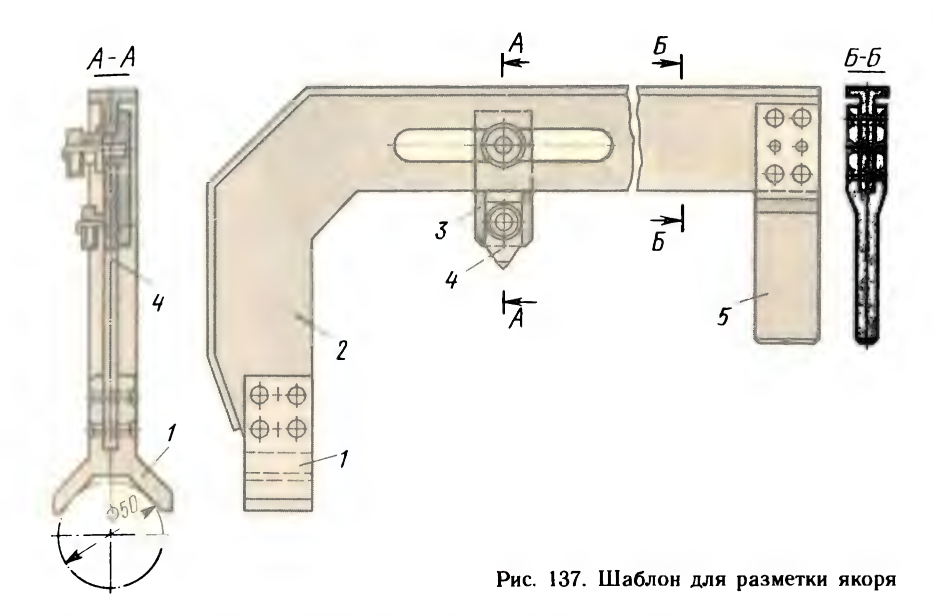


Рис. 137. Шаблон для разметки якоря

ходятся в одной плоскости. Для проверки правильности выбора первого паза стойку шаблона устанавливают призмой на вал якоря, стержень вставляют в намеченный паз, а чертилку опускают до соприкосновения с поверхностью коллектора. Если в чертеже задано, например, что ось симметрии первого паза должна находиться против изоляции между коллекторными пластинами и первый паз выбран правильно, то чертилка должна попасть на изоляцию между коллекторными пластинами. Если этого не произошло и чертилка касается поверхности коллекторной пластины, то стержень шаблона переставляют в следующий паз и снова проверяют совпадение оси паза и изоляции между пластинами.

После того как первый паз найден, его отмечают на торце якоря насечками и, руководствуясь указаниями в чертеже, отсчитывают от чертилки нужное число коллекторных пластин, определяя первую коллекторную пластину. Ее также помечают обычно керном в торце пластины. Основная разметка якоря на этом может быть закончена: в первый паз будет уложена нижняя сторона первой катушки обмотки, а выводной конец ее средней (или крайней) секции должен быть соединен с первой пластиной коллектора. Выводные концы других секций первой катушки вкладываются в прорези петушков соседних (или следующих за первой по ходу укладки, если с первой пластиной соединена крайняя секция) коллекторных пластин. Все остальные катушки укладываются в последующие пазы, а выводные концы их секций устанавливаются последовательно в прорези следующих по порядку коллекторных пластин.

Однако до приобретения навыка укладки обмотки якоря ре-

комендуется пронумеровать все пазы якоря, например, мелом или краской на торце якоря и коллекторные пластины, с тем чтобы по ходу укладки обмотки периодически проверять правильность соблюдения шагов обмотки по пазам и по коллектору.

В тех случаях, когда в технической документации нужные для разметки данные отсутствуют, обмотчику приходится самому определять и первый паз, и первую коллекторную пластину, исходя только из данных схемы обмотки. Такое положение часто встречается, например, во время ремонта якоря, когда старая обмотка демонтирована, а якорь при этом не размечен.

Существует несколько способов разметки якоря.

Наиболее удобно производить разметку как петлевой, так и волновой обмотки от оси симметрии первого паза, в который закладывается нижняя сторона первой катушки. Этот паз определяют, руководствуясь следующим правилом. Если из двух чисел, характеризующих данную обмотку, $u_п$ (число сторон секций в пазу) и y_2 (второй частичный шаг обмотки по элементарным пазам) одно четное, а другое нечетное, то за первый принимают паз, ось симметрии которого совпадает с осью симметрии одной из пластин коллектора. Если же оба эти числа ($u_п$ и y_2) четные или оба нечетные, то за первый принимают паз, ось симметрии которого совпадает с изоляцией между коллекторными пластинами — миканитовой прокладкой. Выбранный паз отмечают с обеих сторон краской или засечками керном на торце якоря, так же отмечают коллекторную пластину. После этого рассчитывают, к какой коллекторной пластине должны быть присоединены выводы секций катушки, сторона которой укладывается в первый паз. Расстояние этой коллекторной пластины до оси первого паза удобнее выражать в целых коллекторных делениях. Расчет проводят для одной из секций, входящих в первую катушку. Если число секционных сторон в пазу нечетное, то расчет ведут для средней секции, если четное, то для секции, сторона которой занимает ближайшее положение справа от оси паза. В тех случаях, когда ось паза совпадает с коллекторной пластиной при нечетном числе $u_п$ и четном шаге y_2, между осью первого паза и коллекторной пластиной, к которой должен быть присоединен вывод средней секции, должно находиться $y_2/2$ целых коллекторных пластин. Коллекторная пластина, совпадающая с осью паза, в это число не входит.

Для петлевой обмотки отсчет ведут в направлении укладки катушек в пазы якоря (в направлении к верхней стороне первой катушки), а для волновых обмоток — в противоположном направлении.

При четном числе $u_п$ и нечетном шаге y_2 между осью первого паза и коллекторной пластиной, к которой должен быть присоединен выводной конец секции, должно быть в петлевых обмотках $\frac{(y_2 - 1)}{2} - 1$, а в волновых обмотках $\frac{y_2 - 1}{2} + 1$ целых коллекторных пластин.

Таблица 8. **Разметка якоря**

Число секций в катушке $u_п$	Второй частичный шаг по элементарным пазам y_2	Число целых коллекторных пластин между осью симметрии первого паза и пластиной, соединенной с выводом средней секции первого паза якоря		Выбор первого паза
		при петлевой обмотке	при волновой обмотке	
Нечетное	Четный	$\frac{1}{2}y_2$	$\frac{1}{2}y_2$	Первый паз
Четное	Нечетный	$\frac{y_2-1}{2}-1$	$\frac{y_2-1}{2}+1$	
Нечетное	Нечетный	$\frac{y_2-1}{2}$	$\frac{y_2-1}{2}$	Первый паз
Четное	Четный	$\frac{1}{2}y_2-1$	$\frac{1}{2}y_2+1$	

Когда ось паза совпадает с изоляцией между пластинами при нечетных числах $u_п$ и y_2, между осью и соединенными с выводами пластинами и в петлевой и в волновой обмотках должно быть $(y_2 - 1)/2$ целых коллекторных пластин, а при четных числах $u_п$ и y_2 в петлевой обмотке $1/2\ y_2 - 1$ и в волновой $1/2\ y_2 + 1$ целых коллекторных пластин. Отсчет пластин, так же как и раньше, для петлевых и волновых обмоток производится в противоположных направлениях. Перечисленные выше случаи и соответствующие их формулы сведены в табл. 8, используя которую разберем пример разметки якоря для укладки петлевой и волновой обмоток.

Пример. Разметим якорь, у которого $z = 35$, $2p = 4$, $K = 105$, для укладки простой волновой обмотки с $u_п = 3$. Шаги обмотки: шаг по коллектору $y_к = (k \mp 1)/p = (105 - 1)/2 = 52$; частичные шаги $y_1 = 27$, $y_2 = 25$; шаг по пазам $y_z = y_1/u_п = \frac{27}{3} = 9$. Числа $u_п = 3$ и $y_2 = 25$ — оба нечетные, следовательно, необходимо отыскать в якоре паз, ось которого наиболее точно совпадает с изоляцией между пластинами коллектора. В табл. 8 для $u_п$ и y_2 нечетных находим, что расстояние между осью паза и коллекторной пластиной, с которой должен быть соединен начальный вывод средней секции в волновой обмотке, равно $(y_2 - 1)/2 = (25 - 1)/2 = 12$. Отсчитываем от оси паза 12 пластин в направлении, противоположном укладке обмотки. К следующей пластине должен быть присоединен начальный вывод средней секции первого паза. Так как сторона секции занимает второе место справа в пазу, то ей удобно присвоить № 2 элементарного паза. Такой же номер присваиваем и коллекторной пластине, с которой соединяется начальный вывод этой секции. Конец секции должен быть соединен с пластиной, отстоящей от найденной на шаг по коллектору, т. е.

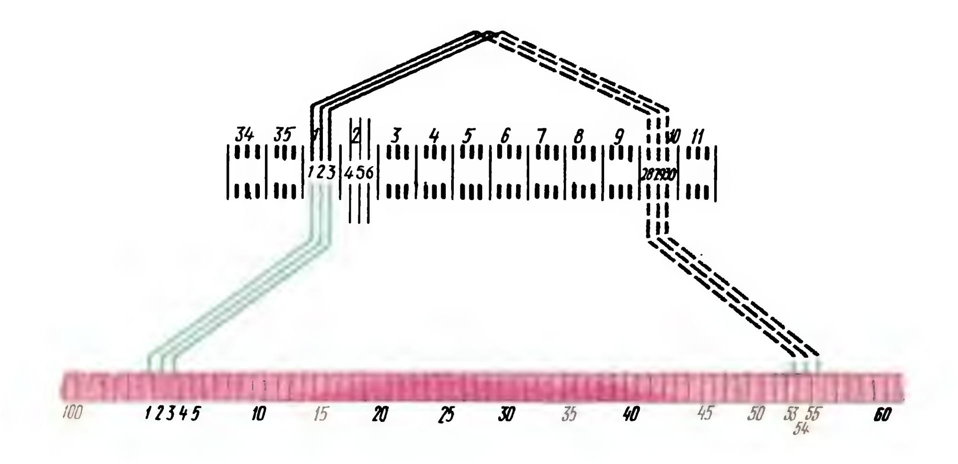


Рис. 138. Практическая схема простой волновой обмотки якоря с $Z=35$, $u_п=3$, $K=105$

с $2+y_к=2+52=54$-й. Отсчет ведем от пластины 2 в сторону первого паза, т. е. в направлении укладки. Выводы других секций, расположенных в пазу 1, должны быть соединены: первой секции — начало — с пластиной 1, конец — с пластиной 53: третьей секции — с пластинами 3 и 55. Практическая схема обмотки этого якоря изображена на рис. 138.

§ 54. УКЛАДКА ОБМОТКИ ЯКОРЯ

В пазы якоря, подготовленного к укладке обмотки из круглого провода, устанавливают корпусную изоляцию — пазовые короба из механически прочного материала с высокой электрической прочностью, например из пленкосинтокартона. При обмотке из прямоугольного провода (укладывается в открытые пазы якоря) на дно пазов устанавливают прокладки из электрокартона толщиной 0,3 мм, которые предохраняют корпусную изоляцию катушек от возможных повреждений при сильном нажатии во время заклинивания. Эти прокладки на 8—12 мм длиннее сердечника якоря и выступают из его пазов по обоим торцам. Чтобы прокладки не сбивались во время укладки обмотки, их закрепляют лентой с обоих торцов якоря.

Пазовые короба устанавливают также и в открытые пазы якоря, несмотря на то что корпусная изоляция обмоток из прямоугольных проводов накладывается на катушки в процессе их изготовления. В этих случаях пазовые короба служат для предохранения изоляции катушек от повреждения о стенки пазов.

Укладку обмотки начинают с первого отмеченного паза, в который устанавливают нижнюю сторону катушки. Ее верхнюю сторону располагают над пазом по шагу обмотки. Лобовые части катушки выравнивают и нижнюю сторону осаживают на дно первого паза, ударяя по ней молотком через подбойку. После этого необходимо распределить выводные концы секций катушки по коллекторным пластинам. От расположения выводных концов

первой секции зависит правильность выполнения всей обмотки, потому что секции остальных катушек укладываются аналогично первой. Руководствуясь практической схемой, обмотчик вкладывает выводные концы первой секции в прорези петушков коллекторных пластин, отмеченных при разметке якоря. Выводные концы второй секции располагаются в прорезях следующих по ходу укладки пластин. В катушках из прямоугольного провода выводные концы каждой секции находят легко. В обмотке из круглого провода концы секции обязательно маркируют при намотке катушек. Если маркировки почему-либо нет, то для нахождения выводных концов одной и той же секции приходится использовать контрольную лампу или другой аналогичный прибор с индикатором.

После соединения выводных концов секций первой катушки с коллекторными пластинами устанавливают вторую катушку. Ее стороны располагают рядом со сторонами первой катушки: нижнюю осаживают на дно паза, а верхнюю оставляют над пазом. Выводные концы вставляют в прорези петушков, следующих по ходу обмотки коллекторных пластин. Так поступают, пока не уложены первые «шаговые» катушки. Число их равно шагу обмотки по пазам y_z. Следующая катушка укладывается уже обеими сторонами в пазы якоря. Ее верхняя сторона располагается в первом пазу, нижняя половина которого уже занята стороной первой катушки. Перед укладкой верхних сторон катушки, находящиеся в нижних частях пазов, уплотняются и на них устанавливают прокладку.

В обмотках из круглого провода межслойную прокладку делают из того же материала, что и пазовый короб. Она служит изоляцией между витками различных катушек. В обмотках из прямоугольного провода эта прокладка имеет технологическое назначение. Она создает определенное расстояние по высоте между сторонами катушек, находящихся в разных слоях, необходимое для правильного размещения их лобовых частей в местах выхода из пазов. Эти прокладки обычно выполняют из стеклотекстолита толщиной 0,5 мм.

Между верхним и нижним слоями лобовых частей катушек по ходу укладки обмотки также устанавливают прокладки из полос изоляционного материала. Они предохраняют от замыкания проводников разных катушек между собой в лобовых частях, которые будут прижаты друг к другу при наложении бандажей после окончания укладки обмотки.

Аналогичный порядок укладки сохраняется до конца намотки. Нижние стороны последних катушек размещают под оставшимися не уложенными сторонами первых катушек. Для этого приходится их приподнять, несколько деформируя лобовые части, как и при «закрывании замка» двухслойных обмоток статора.

После укладки обмотки пазы якоря заклинивают, а если предусмотрено крепление обмотки бандажами, передают на бандажирование.

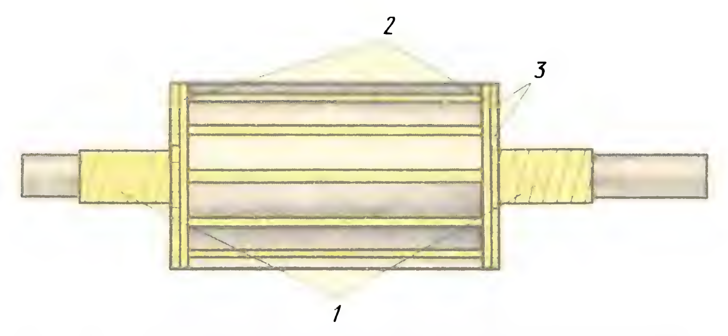


Рис. 139. Изолирование якоря машины малой мощности перед укладкой обмотки

Обмотки из круглого провода якорей небольших диаметров (приблизительно до 150 мм) наматывают непосредственно в пазы. Лобовые части таких обмоток плотно прижимаются к валу машины и к торцам якоря, поэтому эти участки перед укладкой изолируют (рис. 139). На участки вала между коллектором и сердечником якоря наносят несколько слоев изоляционного ленточного материала *1*, а на прилегающий участок с противоположной стороны надевают изоляционную трубку. На торцах сердечника располагают электронитовые шайбы *2*, имеющие форму и размеры листов стали якоря. Пазы якоря изолируют пазовыми коробами *3*. Обмотку выполняют без подъема шага: первые катушки обеими сторонами укладывают на дно пазов, последние — обеими сторонами в верхнюю часть пазов. Лобовые части обмотки при этом распределяются неравномерно: у первых катушек

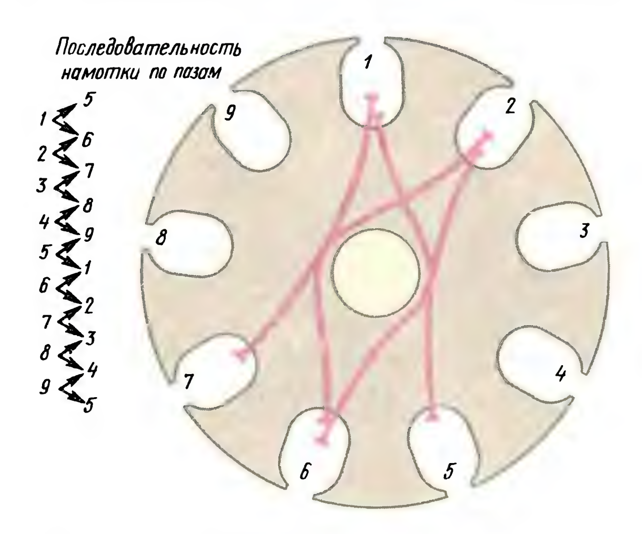


Рис. 140. Последовательность обмотки якоря машины малой мощности

они прижимаются к торцам якоря и к валу, а у последних располагаются в верхнем слое. Более равномерное распределение лобовых частей получается в так называемых двухходовых обмотках. В таких обмотках при ручной укладке витки катушек наматывают одной стороной в один паз, а другими сторонами — в два разных паза, в каждый из них по половине витков катушек. На рис. 140 показана последовательность обмотки якоря машины малой мощности, имеющего девять пазов. Половина витков первой катушки наматывается из 1-го паза в 5-й, а вторая половина — из 1-го в 6-й.

Таким образом, витки первой катушки занимают половину 1-го паза и по $^1/_4$ 5-го и 6-го. Половину витков следующей катушки наматывают из 2-го паза в 6-й и половину из 2-го паза в 7-й, третью катушку — из 3-го паза в 7-й и в 8-й и т. д. После полного обхода все пазы оказываются заполненными нужным числом проводников обмотки. Такой способ обеспечивает большую симметрию расположения обмотки на якоре, чем укладка по обычной схеме.

В настоящее время на большинстве заводов укладка обмотки якорей механизирована. Существует несколько типов станков для механизированной обмотки якорей. По способу образования витка обмотки станки подразделяются на челночные и бесчелночные. В бесчелночных станках витки обмотки образуются при вращении якоря вокруг оси, перпендикулярной валу, в челночных — в результате движения челнока (поводка) вокруг якоря.

Якорь *1* устанавливается в центрах челночного станка (рис. 141) и фиксируется кулачковыми держателями *2*. Обмоточный провод *7* пропускается через полую ось шпинделя станка и ролики, укрепленные на поводке *8*, и закрепляется на якоре. Якорь удерживается в неподвижном положении фиксатором *6*,

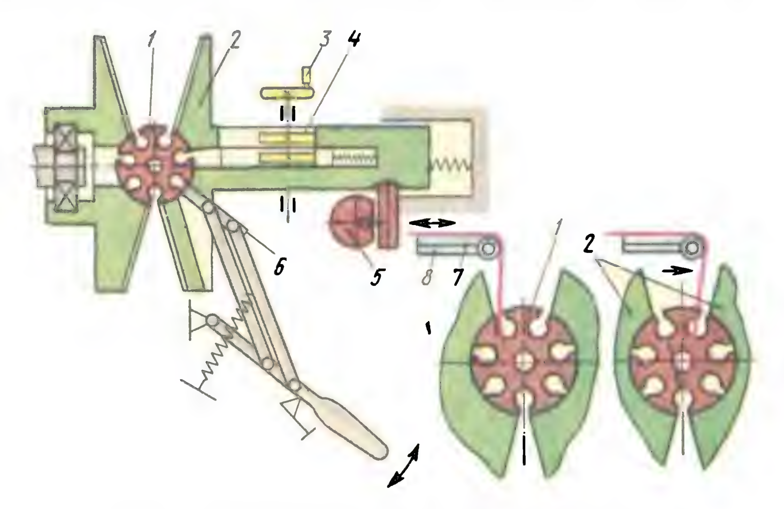


Рис.141. Намотка обмотки якоря на челночном станке

входящим в его паз. При работе станка поводок, двигаясь вокруг якоря, укладывает обмоточный провод, который соскальзывает с направляющей поверхности держателей в пазы якоря. По окончании намотки одной половины катушки поводок передвигается относительно якоря и наматывает вторую половину катушки в пазы. После намотки всей катушки поворачивают маховичок *3*, на оси которого насажены кулачки *4*. Держатель *2* при этом отводится на небольшое расстояние от якоря, освобождая фиксатор, после чего поворачивают якорь на одно пазовое деление и опять устанавливают фиксатор в новый паз, фиксируя следующее положение якоря; возвращают маховичок *3* в исходное положение и закрепляют якорь. После намотки следующей катушки операции повторяются. Чтобы снять якорь после окончания намотки всей обмотки, поворачивая эксцентрик *5*, отводят держатель *2* и полностью освобождают якорь.

При массовом производстве однотипных машин применяют более совершенные станки, в которых автоматизирован также поворот якоря на нужный угол после окончания намотки очередной катушки и его последующая фиксация в новом положении.

По окончании намотки в пазы устанавливают клинья и передают якорь для намотки бандажей.

§ 55. КОНСТРУКЦИЯ И ТИПЫ КОЛЛЕКТОРОВ

Коллектор является наиболее сложной в технологическом отношении частью машины постоянного тока. В то же время надежная работа машины, в первую очередь, зависит от состояния коллектора и щеточного аппарата. Для нормальной работы коллектора необходимо, чтобы его пластины были изолированы друг от друга и от корпуса, его рабочая поверхность была ровная и гладкая и не препятствовала скольжению по ней щеток, электрический контакт щетка — коллектор имел во время движения коллектора под щеткой постоянное и относительно небольшое сопротивление.

Существует несколько различных конструкций коллекторов. Наибольшее распространение получили цилиндрические коллекторы, пластины которых удерживаются металлическими нажимными конусами или запрессованы в пластмассу. Во всех цилиндрических коллекторах пластины имеют клиновидную форму с углом скоса, при котором собранные в один пакет они прилегают друг к другу по всей боковой поверхности (рис. 142) и зажимают миканитовую изоляцию, проложенную между ними. У пластин *7* коллектора с нажимными конусами (рис. 143) имеется выступ в форме ласточкина хвоста. В его выточки входят нажимные конусы — передний *3* и задний *8*. На поверхность конусов, чтобы они не замыкали пластины, устанавливают твердую формованную из миканита изоляцию *5*, которую называют манжетой. Задний конус неподвижный. Он может быть выполнен как одно целое с втулкой коллектора *9* или насажен на нее до упора в

Рис. 142. Пластины коллектора: *1* — пластины, *2* — изоляция между пластинами





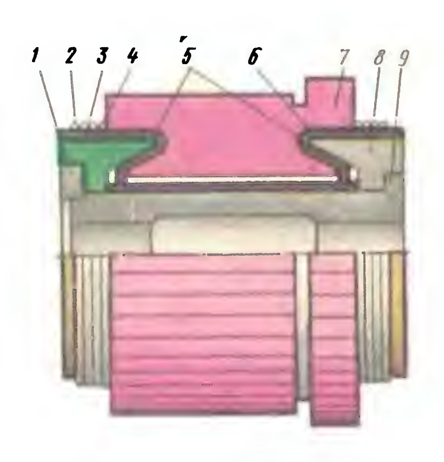


Рис. 143. Коллектор с нажимными конусами

буртик. Передний конус подвижный. При его движении по направлению к заднему конусу он несколько сдвигает весь пакет коллекторных пластин, при этом оба конуса упираются в нижние скосы ласточкина хвоста и все пластины коллектора одновременно осаживаются к центру. Между пластинами возникает так называемый арочный распор. Пластины плотно прижимаются друг к другу своими боковыми сторонами и зажимают установленную между ними изоляцию. Давление переднего конуса на пластины создается затяжкой гайки *1*, положение которой после затяжки фиксируется стопором *2*. Такие коллекторы называют арочными. В них нажимные конусы не оказывают давления на верхний скос ласточкиных хвостов в пластинах. Между изоляцией конуса и внутренней поверхностью верхнего скоса *6* пластин коллектора остается зазор в несколько десятых долей миллиметра. Чтобы в него не попала грязь или графитовая пыль от щеток, места прилегания торцов пластин к конусам изолируют бандажами *4* из шнура или ленточного изоляционного материала.

В коллекторах с нажимными конусами сложную форму изоляции конусов — манжетам придают опрессовкой разогретых листов формовочного миканита на фигурных оправках. Изоляцию втулки коллектора также делают из формовочного миканита.

В быстроходных машинах центробежные силы, действующие на пластины коллектора, достигают больших значений и крепление пластин нажимными конусами становится недостаточным. В этих случаях применяют коллекторы с бандажными кольцами (рис. 144). Бандажные кольца *2* в горячем состоянии насаживаются на собранные в кольцо коллекторные пластины *3* и зажимают их. В месте посадки устанавливают механически прочные изоляционные прокладки *1*. Ласточкины хвосты у пластин таких коллекторов не нужны, поэтому общая высота пластин уменьшается, однако расход меди в коллекторах с бандажными кольцами больше, чем в коллекторах с нажимными конусами. Это происходит из-за того, что большая часть рабочей по-

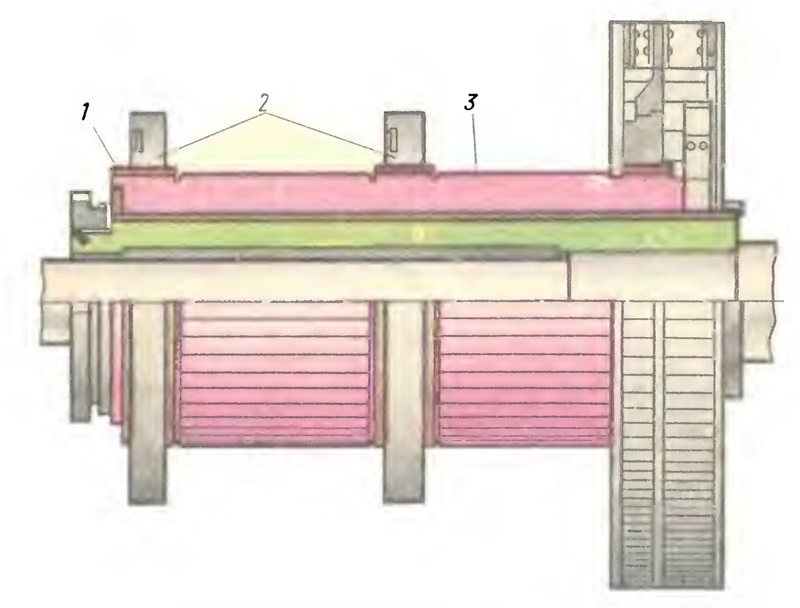


Рис. 144. Коллектор с бандажными кольцами

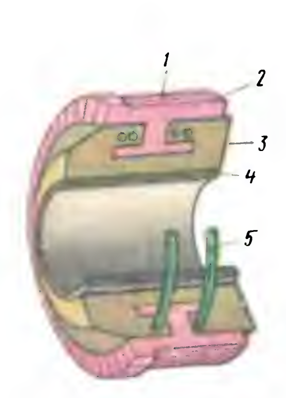


Рис. 145. Коллектор на пластмассе:
1 — коллекторные пластины, *2* — изоляционные прокладки между пластинами, *3* — пластмассовый корпус, *4* — втулка, *5* — армировочное кольцо

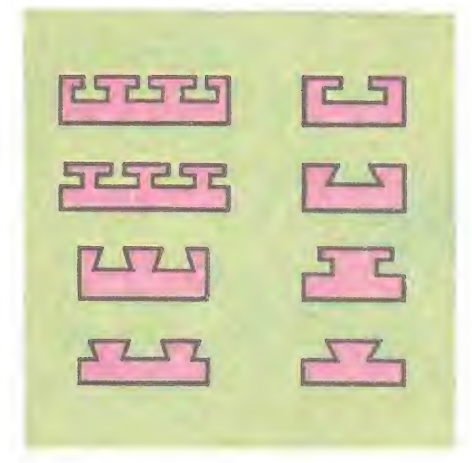


Рис. 146. Пластины с различными крепежными выступами для коллекторов на пластмассе

верхности коллекторов занята под посадку бандажных колец. Поэтому коллекторы с бандажными кольцами применяют только в быстроходных машинах, в которых нельзя установить коллекторы с нажимными конусами.

В последние годы с целью упрощения технологии изготов-

ления коллекторов и уменьшения расхода дорогостоящей изоляции нажимных конусов в машинах малой и частично средней мощности (рис. 145) пластины таких коллекторов с проложенной между ними изоляцией собирают в оправку, обжимают и запрессовывают в пластмассу, обладающую высокими механическими свойствами. Обычно применяют пластмассу АГ4 или АГ4С с наполнителем из стеклянного волокна. Пластины могут иметь различную конфигурацию (рис. 146), при которой обеспечивается плотное закрепление их в пластмассе. Для усиления крепления в выемках пластин устанавливают и одновременно с пластинами запрессовывают в пластмассу стальные армировочные кольца. Конфигурация выступов пластин и количество колец зависят от размеров коллектора и частоты его вращения. Для посадки коллектора на вал одновременно с пластинами в пластмассу запрессовывают также металлическую втулку со шпоночной канавкой.

Коллекторные пластины изготовляют из меди с присадкой кадмия, имеющей повышенную стойкость на истирание. Пластины нужной длины штампуются из шин клиновидного профиля. Окончательную конфигурацию они получают после сборки на оправку, когда на токарном станке протачивают выточки ласточкина хвоста. Между пластинами прокладывают изоляцию из листового коллекторного миканита, обладающего большой механической прочностью.

§ 56. ПАЙКА КОЛЛЕКТОРОВ

Чтобы припаять выводные концы секций к пластинам, в петушках коллекторах фрезеруют прорези. Высота петушков зависит от разницы диаметров якоря и коллектора. Петушки должны располагаться примерно на уровне пазов якоря (см. рис. 37), чтобы выводные концы секций не приходилось сильно изгибать. В машинах, в которых диаметр якоря много больше, чем диаметр коллектора, петушки должны быть высокими. Для этого края пластин до сборки коллектора фрезеруют и в них впаивают полоски меди с хомутиками для соединения с концами секции — вставные петушки. Места соединений вставных петушков с пластинами должны помимо высокой электропроводности обладать также и большой прочностью. Поэтому концы петушков и прорези пластин сначала лудят, потом скрепляют заклепками и лишь после этого пропаивают припоем ПОС. Широко применяется также пайка вставных петушков с коллекторными пластинами медно-фосфористым припоем ПМФ. Пайка этим припоем обеспечивает одновременно и хороший электрический контакт, и высокую механическую прочность места соединения.

В ремонтных работах или при производстве единичных машин крупных габаритов выводные концы секций к коллектору паяют ручным паяльником. Эта операция очень трудоемкая и требует

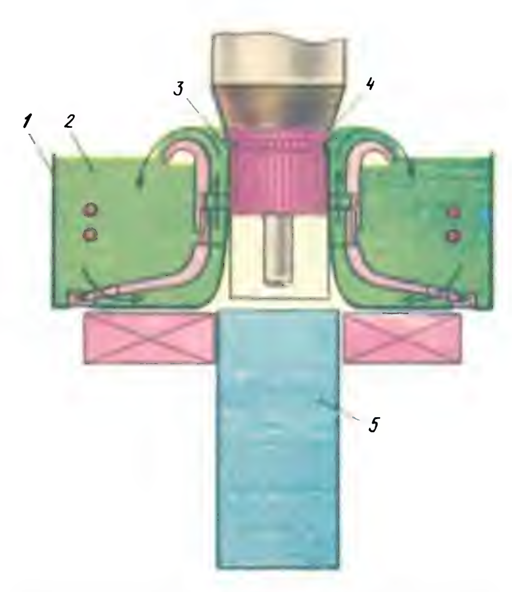


Рис. 147. Установка для пайки коллекторов

большого мастерства обмотчика. На всех электромашиностроительных заводах пайка коллекторов механизирована.

Широко распространен способ пайки опусканием коллектора вертикально в ванну с расплавленным припоем. Наружная поверхность пластин коллектора покрывается составом, препятствующим соединению припоя с медью, а петушки и вставленные в них концы секций — флюсом. Коллектор опускают в ванну так, чтобы петушки оказались погруженными в припой. Припой затекает в щели в местах соединений концов секций и петушков и выдерживается в ней до полного заполнения свободного пространства в прорезях петушков. После выемки коллектора из ванны припой затвердевает и создается хороший электрический контакт между секциями и пластинами коллектора. Недостатком этого способа являются длительность процесса паяния, в результате чего вместе с петушками разогреваются концы секций выше допустимой для изоляции нормы. Кроме того, возникает опасность неполного заполнения припоем узких щелей между выводными концами секций и стенками прорезей петушков; это объясняется интенсивным охлаждением припоя в местах соприкосновения с петушками, так как текучесть припоя с охлаждением уменьшается и он недостаточно глубоко проникает в глубь соединений.

В настоящее время способ пайки коллекторов опусканием в ванну с расплавленным припоем модернизирован и является наиболее прогрессивным. В установке (рис. 147) под ванной *1* с припоем *2* смонтирован индуктор *5*, который питается переменным током промышленной частоты. Магнитный поток, создаваемый индуктором, наводит вихревые токи в жидком металле — расплавленном припое. При взаимодействии вихревых токов и потока припой перемещается вверх по каналу и омывает петушки *4* коллектора *3* со вставленными концами секций. Одновременно вихревые токи разогревают припой. Перемещение припоя очень интенсивно. К месту пайки все время поступает горячий припой, поэтому он быстро и надежно заполняет все щели между концами секций и прорезями петушков. Процесс пайки продолжается всего несколько секунд и лишь для коллек-

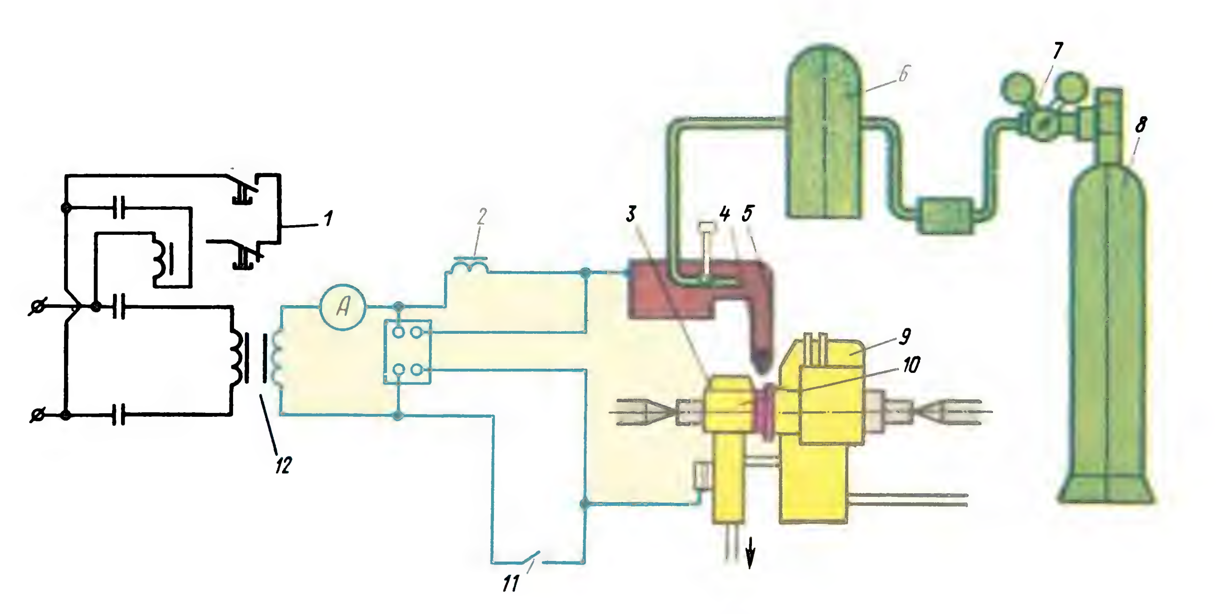


Рис. 148. Принципиальная схема установки для аргоно-дуговой сварки концов секций с петушками коллекторных пластин

торов большого размера требуется несколько десятков секунд; за это время обмотка якоря не успевает нагреться, что особенно важно для сохранения свойств изоляции ее секций.

Прочное в механическом отношении соединение и надежный электрический контакт получаются при аргоно-дуговой сварке. Она основана на сплавлении петушков коллектора и выводных концов секций обмотки с помощью электрической дуги. Во время плавления зона сварки защищается от воздействия на медь кислорода воздуха инертным газом — аргоном. На рис. 148 показана принципиальная схема установки для аргоно-дуговой сварки. Сварочная головка *5* с зажатым в ней электродом *4* из вольфрамовой проволоки устанавливается вертикально или под небольшим углом над петушками коллектора *10*. Ток подается через пусковое устройство *1*, понижающий трансформатор *12* и реактор *2* на сварочную головку и коллектор при замыкании контакта *11*. Сила тока устанавливается реактором в пределах 150—300 А. Одновременно к сварочной головке из баллона *8* подается аргон через редукционный клапан *7*. Расход газа устанавливается ротаметром *6* в пределах 7—10 л/мин. При подаче напряжения между электродом и петушками коллектора возникает электрическая дуга, вызывающая нагрев петушков до высокой температуры (около 4000°С) и сплавление их с концами секций. Процесс сварки одного контакта длится около 5 с. Чтобы избежать чрезмерного нагрева коллектора и обмотки, на якорь и коллектор устанавливают герметические охлаждающие рубашки *3* и *9*, внутри которых циркулирует вода. Кроме того, часть теплоты уносится струей аргона, поэтому нагрев коллектора и обмотки за короткое время сварки не успевает превысить допустимых норм. Чтобы длительность сварки одной пластины не превысила расчетную, в цепь понижающего трансформатора устанавливают реле времени, которое автоматически отключает напряжение через заданное время сварки.

В настоящее время на больших электромашиностроительных заводах разработаны и внедрены полуавтоматические станки для аргоно-дуговой сварки, в которых весь процесс сварки выводных концов секций с коллекторными пластинами автоматизирован. Качество сварки или пайки коллекторов контролируется осмотром и приборами, позволяющими обнаружить разницу между сопротивлениями одинаковых элементов обмотки якоря, возникающую при некачественном соединении секций с коллектором.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Используя рис. 136, расскажите об основных элементах конструкции якоря и их назначении.

2. В какой последовательности подготовляют якорь к укладке обмотки?

3. Как изолируют обмоткодержатели якоря?

4. Зачем нужна разметка якоря и как ее производят?

5. В какой последовательности укладывают вручную обмотку якоря?

6. Как работают станки для механизированной намотки якорей?

7. Используя рис. 143, расскажите об основных элементах конструкции коллектора с нажимными конусами и поясните их назначение.

8. В чем заключается преимущество коллекторов на пластмассе?

9. Какие существуют способы пайки коллекторов? Какой из них наиболее прогрессивный?

ГЛАВА XII

КРЕПЛЕНИЕ И ОТДЕЛКА ОБМОТОК ЯКОРЕЙ И РОТОРОВ

§ 57. КРЕПЛЕНИЕ ОБМОТОК ЯКОРЕЙ И РОТОРОВ

Закрепить обмотку в пазовых и лобовых частях на фазном роторе асинхронного двигателя или якоре машины постоянного тока значительно сложнее, чем на неподвижном статоре. При работе двигателя на обмотку действуют центробежные силы, стремящиеся вытолкнуть ее из пазов и отогнуть лобовые части. Чтобы проводники оставались плотно прижатыми к дну паза при работе машины, давление клиньев на них должно быть большим, чем центробежная сила, действующая на пазовую часть обмотки. Поэтому толщину клиньев для пазов якоря и фазного ротора асинхронной машины увеличивают по сравнению с клиньями для пазов статора. Последовательность установок прокладок и заклиновки пазов такая же, как и при заклинивании статорных пазов.

Лобовые части обмоток крепятся бандажами (рис. 149), которые наматываются из стальной проволоки *1* или стеклоленты с натягом и прижимают лобовые части катушек к обмотко-

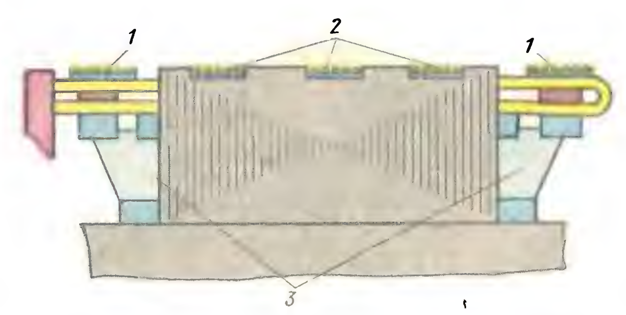


Рис. 149. Крепление обмоток якоря бандажами

держателям *3*. В якорях машин постоянного тока распространено крепление бандажами *2* и пазовой части обмоток. Для этого сердечник якоря шихтуют из листов разного диаметра, так что на его наружной поверхности образуется несколько углублений. В этих углублениях размещают витки бандажа.

Для крепления пазовой части обмотки фазных роторов асинхронных двигателей бандажи не применяют, так как при малом воздушном зазоре асинхронных двигателей любое его изменение даже на незначительных участках по длине машины приводит к ухудшению характеристик двигателя.

§ 58. НАМОТКА ПРОВОЛОЧНЫХ БАНДАЖЕЙ

Проволочные бандажи наматывают из стальной проволоки специальных сортов с высокой механической прочностью, которая называется бандажной. Бандажная проволока поступает на завод луженая, в бухтах. Диаметр проволоки 0,2—2,5 мм. Наиболее часто употребляется проволока диаметром от 0,5 мм для бандажей малых машин до 1,5 мм для машин с диаметром якоря до 1000 мм. Число витков бандажа рассчитывается отдельно для пазовой и лобовых частей обмотки таким образом, чтобы усилие, оказываемое всеми витками бандажа на пазовую и лобовые части обмотки, было больше, чем центробежная сила, действующая на них во время работы машины. Натяжение проволоки при намотке зависит от ее диаметра. Оно задается в технологической карте и должно быть строго выдержано при намотке всех витков бандажа.

В машинах с большим диаметром якоря и особенно часто в быстроходных машинах необходимое число витков бандажа оказывается больше, чем можно расположить в один слой на лобовых частях якоря. В этих случаях бандажи наматывают в два или три слоя. Первый слой проволоки наматывают с полным натяжением, а каждый последующий с несколько меньшим.

Для намотки бандажа якорь устанавливают на бандажировочный станок. На лобовые части укладывают подбандажную изоляцию, состоящую из слоев электронита (в якорях с изоляцией классов нагревостойкости *F* и *H* — из формовочного миканита), закрепленных витками стеклоленты. На наружную поверхность подбандажной изоляции стеклолента накладывается вполнахлеста на всю ее ширину. Ширина подбандажной изоляции должна быть на 10—12 мм больше, чем ширина бандажа, чтобы его крайние витки не могли соскользнуть на лобовые части.

Конец бандажной проволоки закрепляют на якоре. Первые несколько витков бандажа делают на поверхности сердечника якоря, постепенно увеличивая натяжение проволоки до требуемого. После этого, подложив электрокартон, переводят проволоку на подбандажную изоляцию лобовой части. На подбандаж-

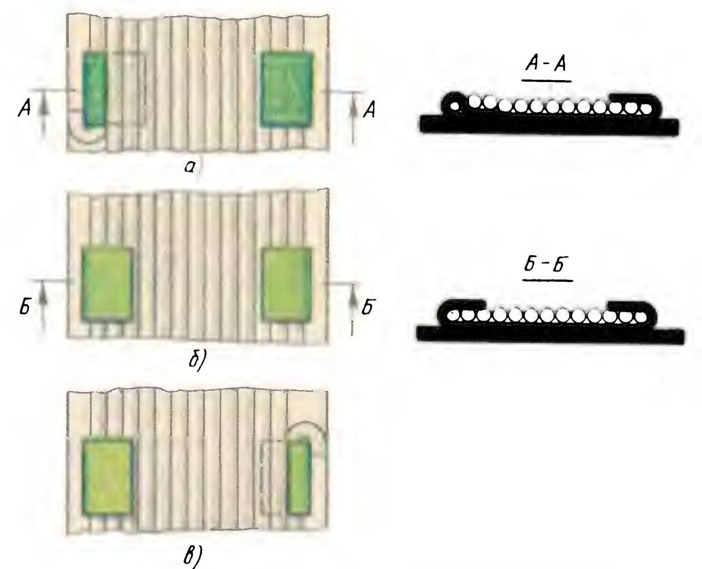


Рис. 150. Закрепление витков проволочного бандажа:
а — начальное, *б* — промежуточное, *в* — конечное

ной изоляции в нескольких местах по окружности под первым витком проволоки располагают на равном расстоянии друг от друга полоски белой жести длиной, несколько большей, чем ширина бандажа. Эти полоски служат для скрепления витков намотанного бандажа. В начале витка устанавливают дополнительно более длинную полоску жести и загибают ее над проволокой, с тем чтобы второй и последующие витки прижали ее загнутый конец к подбандажной изоляции (рис. 150, *а*). На расстоянии 30—40 мм от нее устанавливают вторую полоску жести для более прочного закрепления первого и последнего витков бандажа. Все витки бандажа наматывают с постоянным строго определенным натягом.

Обмотчик при намотке должен следить, чтобы витки ложились ровно и плотно друг к другу. Для этого ему приходится время от времени останавливать станок и, не снимая натяга проволоки, подбивать отошедшие витки к ранее уложенным молотком через деревянную или текстолитовую подбойку.

Обе лобовые части бандажируют целым куском проволоки, не снимая натяга. После намотки бандажа на одну лобовую часть витки закрепляют жестяными скобочками (рис. 150, *б*) и переходят к наложению бандажа на другую лобовую часть, сделав несколько редких переходных витков на средней части якоря. Последний виток бандажа также закрепляется скобочкой. Места закрепления первых и последних витков бандажей каждой из лобовых частей пропаивают, и только после этого может быть снято натяжение и проволока отрезана от бухты. Концы

каждого из бандажей заправляют в подготовленные петли скобочек и отгибают (рис. 150, *в*). После этого всю поверхность бандажей пропаивают припоем ПОС-40. Прогрев бандажа во время пайки должен быть быстрым, чтобы подбандажная изоляция не успела нагреться, иначе чрезмерный нагрев может повредить изоляцию лобовых частей обмотки. Поэтому для паяния бандажей применяют мощные электрические паяльники с широкой торцовой частью. В качестве флюса используют только канифоль.

Проволочные бандажи наматывают на бандажировочных станках; это могут быть либо специализированные станки, выпускаемые промышленностью, либо станки, переделанные из токарных. В станке обязательно должно быть устройство для натяжения бандажной проволоки, снабженное динамометром, по которому обмотчик имеет возможность во время намотки контролировать натяжение, а также устройство, позволяющее регулировать частоту вращения якоря и останавливать его для поправки уложенных витков проволоки. Натяжение во время останови якоря должно оставаться прежним. Кроме того, станок должен быть оборудован защитным устройством, предохраняющим обмотчика от ударов случайно разорвавшейся во время намотки проволоки, так как концы разорванной при большом натяжении стальной проволоки могут нанести ему серьезные ранения.

§ 59. БАНДАЖИ ИЗ СТЕКЛОЛЕНТЫ

В современных машинах проволочные бандажи наматывают только на больших якорях. На якорях машин малой и средней мощности вместо проволочных наматывают бандажи из стеклоленты. Для этой цели используют стеклоленту из однонаправленных стеклянных нитей, пропитанную в термореактивных лаках ПЭ-953 для классов нагревостойкости изоляции А, Е и В или в лаке ПЭ-933 для класса нагревостойкости F.

Бандажи наматывают на бандажировочных станках, оборудованных устройством для натяжения стеклоленты, динамометром и тормозным устройством, позволяющим сохранять натяжение ленты при остановке станка. Перед намоткой стеклоленты ее конец закрепляют на якоре, прижав его к середине лобовой части 1,5—2 витками бандажа при неполном натяжении ленты. Увеличивают натяжение до заданного в чертеже. Под натянутую ленту заправляют край полосы из стеклоткани шириной примерно в 1,5 раза большей, чем ширина бандажа, и обертывают ее один раз вокруг лобовых частей якоря. Витки бандажной ленты накладываются на эту полосу с полным натяжением вполнахлеста от первого витка в сторону головок лобовых частей.

На границе бандажа согласно чертежу обмотки наматывают несколько витков ленты один на другой. При этом образуется

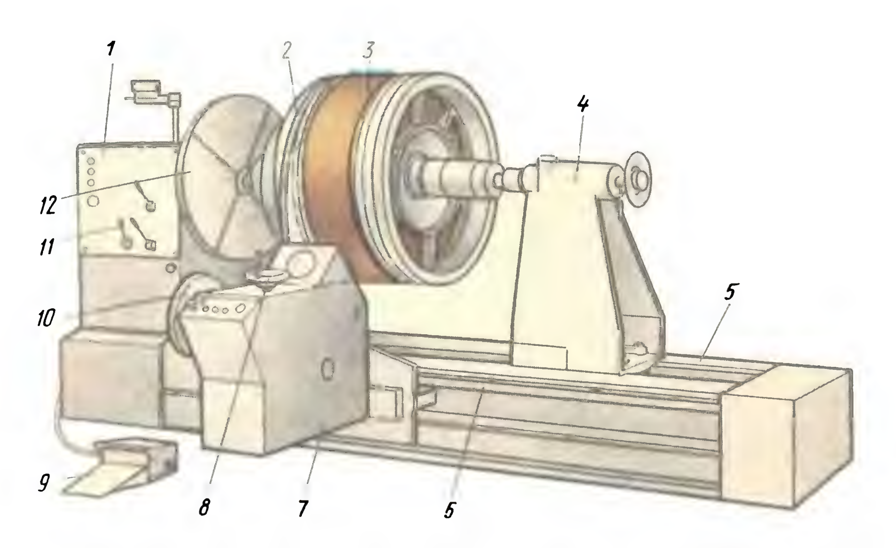


Рис. 151. Кинематическая схема станка для бандажирования стеклолентой

бортик, на который завертывают подложенную под бандаж полосу стеклополотна. Таким образом появляется упор, препятствующий сползанию витков ленты в сторону головок лобовых частей. Завернутый край стеклополотна прижимается последующими витками, образуя чехол для крайних витков ленты. Все остальные витки наматывают рядами вполнахлеста, размещая их между бортиком и торцом якоря. Количество витков указывается в чертеже обмотки.

Конец последнего витка должен располагаться на середине по ширине бандажа. Для его закрепления на бандаж перпендикулярно ленте укладывают согнутую петлей тонкую проволоку и прижимают ее последними тремя витками ленты, которые наматывают один на другой, постепенно уменьшая натяжение примерно до половины первоначального. После этого полностью освобождают ленту и перерезают ее. Конец ленты закрепляют, продевая в петлю и протаскивая под последними витками. Последний виток пропаивают горячим паяльником. От нагрева лак, которым пропитана бандажная лента, запекается и прочно удерживает конец бандажа. Бандаж на лобовые части со стороны коллектора наматывают, не устанавливая чехла, так как роль бортика играют петушки коллектора.

После намотки бандажей из стеклоленты их запекают. Якорь выдерживается в печи при 145—150°С в течение 12 ч. За это время термореактивный лак, которым пропитана бандажная стеклолента, полимеризуется и бандаж превращается в монолитное кольцо, прочно удерживающее лобовые части обмотки во время работы машины.

Бандажи из стеклоленты состоят из большого числа витков, поэтому необходима правильная раскладка ленты вполнахлеста

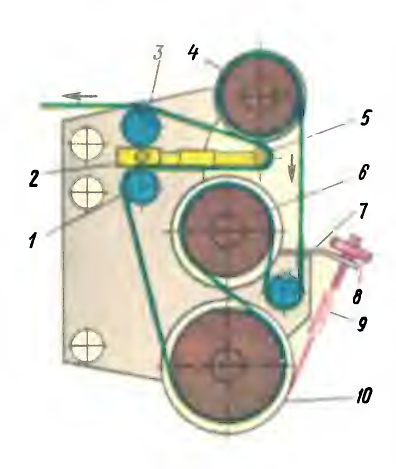


Рис. 152. Кинематическая схема каретки бандажировочного станка с механизмом натяжения

по ширине бандажа. Намотка их на несовершенном оборудовании сопряжена с большими затратами времени.

Бандажи из стеклоленты наматывают на специальных бандажировочных станках (рис. 151). Станок состоит из станины *5*, задней подвижной бабки *4*, передней бабки *1* и подвижной каретки *7*. В передней бабке находится коробка скоростей *11*. В каретке расположены система, обеспечивающая ее поступательное движение, и натяжное устройство стеклоленты *10*.

Установленный в центрах передней и задней бабок якорь *3* вращается приводным двигателем через коробку скоростей и шпиндель станка *12*. Одновременно система шестерен вращает ходовой и силовой валики. От ходового валика приводится в действие система подачи каретки, передвигающейся по зубчатой рейке *6*. Силовой валик приводит в действие механизм *10* подачи и натяжения ленты. Во время остановки станка натяжение ленты сохраняется. Для заправки ленты *2* и создания натяжения вручную служит штурвал *8*, соединенный системой шестерен с механизмом натяжения. Станок пускается нажатием педали *9*.

Большой ход каретки вдоль якоря позволяет за одну установку наматывать бандажи на обе лобовые части обмотки якоря.

Кинематическая схема работы каретки станка с механизмом натяжения приведена на рис. 152. Лента с барабана *4* через направляющий ролик *7* поступает на барабаны *6* и *10* и через направляющие ролики *1, 5* и *3* наматывается на лобовые части якоря. Большой угол охвата лентой барабанов не дает ей возможности проскальзывать по их поверхностям. Натяжение ленты создается торможением барабанов. Степень натяжения контролируется динамометром *2*. Для усиления или уменьшения натяжения рукояткой *8* поджимают или отпускают пружину тормоза *9*.

В настоящее время для намотки бандажей из стеклоленты промышленность выпускает бандажировочные станки типа БР. На различных моделях полуавтоматических станков этого типа можно наматывать бандажи из стеклоленты на якоря диаметром от 80 (станок, БР-1) до 1200 мм (станок БР-2). Станки обеспечивают высокую производительность и хорошее качество намотанных бандажей. Частота вращения шпинделя этих станков может меняться: 42—200 об/мин при намотке бандажей на якоря машин малой мощности и 10—70 об/мин при намотке бан-

дажей на якоря машин большой мощности. Число витков намотанного бандажа фиксируется счетчиком. Намотав заданное число витков, намотку прекращают.

После пайки обмоток и намотки бандажей якоря поступают в пропиточное отделение цеха для пропитки уложенной обмотки.

§ 60. ОТДЕЛКА ЯКОРЯ

Отделка якоря состоит в заделке свободной поверхности миканитовых манжет на конусах, покрытии эмалью всей поверхности якоря (кроме рабочей поверхности коллектора), проточке, продороживании и полировании рабочей поверхности коллектора.

Заделка миканитовых манжет. После сборки коллектора часть поверхности изоляции переднего нажимного конуса остается открытой (рис. 153). На нее и на торцы пластин может осесть графитовая пыль щеток при работе машин. Пыль может также проникнуть в зазор между верхним скосом ласточкина хвоста пластин и изоляцией нажимных конусов. Загрязнение этих участков приведет к перекрытию изоляции между пластинами и к замыканию их между собой. Чтобы этого не случалось, на свободную поверхность миканитовых манжет накладывают бандаж из шнура или слой ленты изоляционного материала; он должен полностью закрывать всю поверхность миканита и вплотную прилегать к торцам коллекторных пластин. Витки ленты закрепляют и покрывают эмалью. Одновременно эмаль наносят на торцовые части коллекторных пластин.

Лента предохраняет изоляцию манжет от выветривания, а гладкая поверхность эмали не дает возможности задерживаться на ней грязи и пыли.

Проточка коллектора. К состоянию рабочей поверхности коллектора предъявляются высокие требования. Биение поверхности при работе машины в зависимости от размеров коллектора не должно превышать 0,01—0,06 мм. При больших биениях поверхности относительно оси вращения вала щетки во время работы могут отрываться от поверхности пластин и нарушить контакт между обмоткой и коллектором. Это вызывает искрение и быстрый износ коллектора.

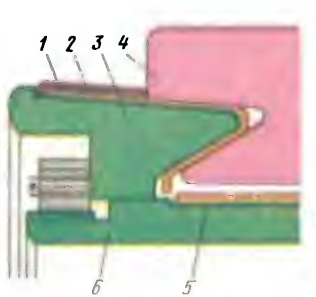


Рис. 153. Заделка миканитовых манжет:

1 — миканитовая манжета; *2* — бандаж, *3* — передний нажимной конус, *4* — пластина коллектора, *5* — изоляция втулки, *6* — втулка коллектора

Проточку коллекторов машин малой и средней мощности производят на переоборудованных быстроходных токарно-винторезных станках. Для получения требуемой чистоты поверхности скорость резания должна составлять 200—250 м/с при очень малой подаче — около

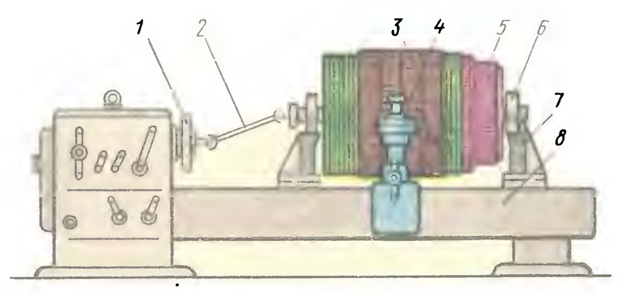


Рис. 154. Якорь, установленный на токарно-винторезном станке для проточки коллектора

0,05 мм/об и малой глубине резания до 0,05 мм. Для проточки применяют твердосплавные резцы со специальной геометрией режущей грани.

Чтобы обеспечить соосность поверхности коллектора и шеек вала, якорь во время проточки устанавливают в люнеты на шейки вала или в собственных подшипниках. На рис. 154 показана установка якоря *3* для проточки коллектора *5* в собственных подшипниках *6*, закрепленных на раздвижных стойках-люнетах *7*. Его приводят во вращение шпинделем *1* станка *8* через шарнирную передачу *2*. Такая передача позволяет протачивать на станке коллекторы различных якорей, причем якорь вращается вокруг оси шеек вала, т. е. таким же образом, как и при установке якоря в машине. Резец для обточки коллектора крепится в суппорте *4* станка. Необходимая частота вращения, величина подачи и глубина резания устанавливаются в зависимости от размеров коллектора.

Коллекторы больших машин с диаметром более 1500 мм протачивают в собранной машине. Для этой цели пользуются переносным суппортом. Якорь приводится во вращение приводным двигателем, соединенным с валом якоря муфтой.

При проточке коллекторов большого диаметра во время ремонта для вращения якоря иногда используют собственный вращающий момент машины постоянного тока. Для этого на коллекторе оставляют только по одной щетке на каждом щеточном болту и подают на них пониженное напряжение, с тем чтобы линейная скорость поверхности коллектора составляла около 100—120 м/мин. При таком способе резец следует устанавливать на геометрической нейтрали, т. е. строго между осями двух соседних главных полюсов машины, и изолировать его от корпуса переносного суппорта.

Продороживание коллектора. Коллекторные пластины изолируют друг от друга пластинками из коллекторного миканита — твердого изоляционного материала, который может выдержать большое давление на плоскость, но хрупок и легко выкрашивается с поверхности коллектора при трении о нее щеток. При этом отдельные пластинки слюды могут выступать над коллекторными пластинами и создавать помехи движению щеток



Рис. 155. Изоляция между пластинами коллектора:

а — коллектор непродороженный, б — коллектор продороженный

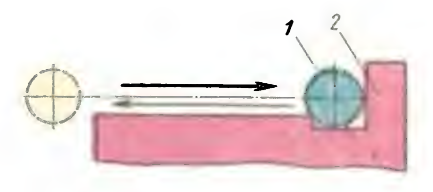


Рис. 156. Продороживание коллектора фрезой:

1 — фреза, *2* — петушок коллекторной пластины

по поверхности коллектора. Чтобы этого не случилось, коллектор продороживают. Так называется технологическая операция, при которой миканитовую изоляцию между пластинами коллектора удаляют на глубину 1—1,5 мм путем фрезерования канавок (дорожек) между пластинами (рис. 155).

При продороживании также обязательно снимают фаски с граней коллекторных пластин по всей длине рабочей части коллектора.

Для фрезерования используют фрезы небольшого диаметра, приводимые во вращение быстроходными электродвигателями. Толщина фрез должна быть на 0,1 мм больше, чем толщина миканитовых прокладок. Диаметр фрез должен быть маленьким, чтобы фреза могла проходить всю рабочую поверхность коллектора, не упираясь в петушки пластин (рис. 156). При обратном движении фреза выходит за край коллектора на 10—15 мм.

Подача суппортов с установленными на них фрезами на различных станках осуществляется либо вручную, либо автоматически в зависимости от типа станка. После фрезерования изоляции между одной парой пластин якорь с коллектором поворачивается на одно коллекторное деление и фрезеруется изоляция между следующими пластинами. На станке не может быть установлен строго фиксированный угол поворота якоря, так как толщина изоляции между пластинами имеет определенный допуск. При постоянном угле поворота коллектора может создаться такое положение, что разница в толщинах изоляции при переходе фрезы от пластины к пластине постепенно накопится, и в конце концов фреза, оставив нетронутой часть миканита, будет прорезать край коллекторной пластины. Поэтому в полуавтоматических станках угол поворота коллектора для продороживания изоляции между очередными пластинами корректируется в зависимости от толщины каждой пластины.

На рис. 157 изображена кинематическая схема полуавтоматического станка для продороживания коллекторов. Станок состоит из станины *1*, передней неподвижной *7* и задней подвижной *2* бабок, в центрах которых устанавливается якорь *3*. Фреза *4* получает вращение от высокоскоростного двигателя *5*,

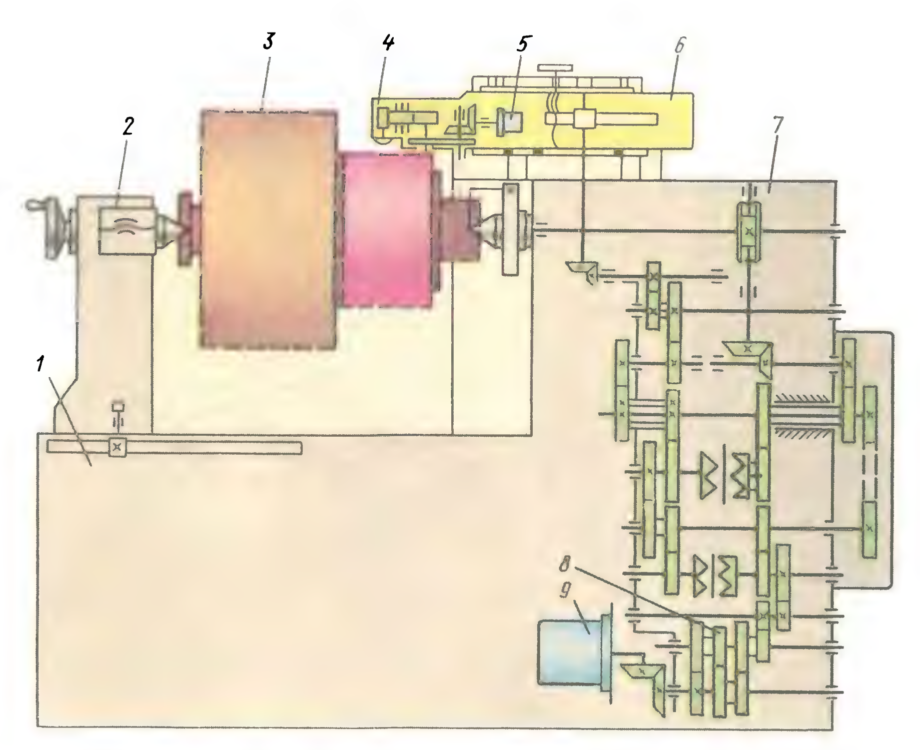


Рис. 157. Полуавтоматический станок для продороживания коллекторов

расположенного на ползуне *6*. Движение ползуна с установленной на нем фрезерной головкой вдоль коллектора осуществляется от электродвигателя *9* через систему шестерен *8*, которые служат для изменения скорости подачи и возвратного движения ползуна после прохода вдоль коллектора. Когда фреза возвращается в исходное положение за торец коллектора, включается механизм поворота коллектора и поворачивает его на нужный угол.

Следящая система станка, корректирующая угол поворота (рис. 158), работает следующим образом. По торцовым граням коллекторных пластин *1* скользят щупы. Щуп *2* имеет постоянный электрический контакт с пластинами. Диаметр щупа *3* меньше, чем толщина изоляции между пластинами. Когда он касается торца пластины, между щупами оказывается замкнутая по обмотке якоря электрическая цепь. Как только щуп *3* во время поворота коллектора попадает на изоляцию *4* между пластинами, цепь разрывается, механизм поворота останавливается и фиксирует коллектор. Ползун *5* приходит в движение, и фреза *6* продороживает изоляцию. После возврата фрезы в исходное положение снова включается механизм поворота и поворачивает коллектор до тех пор, пока щуп *3* опять не попадет на изоляцию, т. е. строго на одно коллекторное деление. Таким

образом, фреза всегда устанавливается на расстояние, равное толщине коллекторной пластины от профрезерованной перед этим дорожки. Это исключает возможность сдвига фрезы относительно середины изоляции и обеспечивает полное удаление изоляции между коллекторными пластинами на заданную глубину.

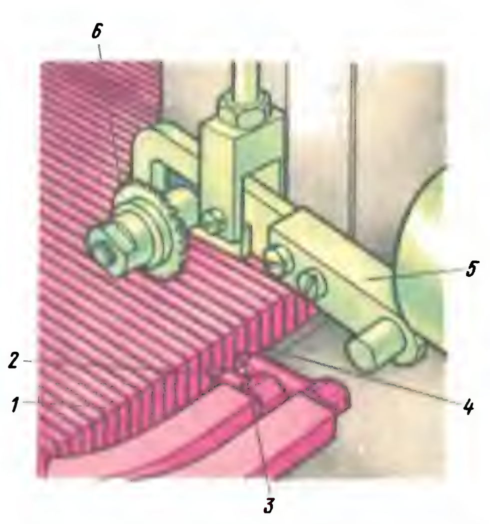


Рис. 158. Автоматическая система для установки фрезы при продороживании

После фрезерования края коллекторных пластин зачищают, шабером снимают фаску (см. рис. 155) и остатки чешуек слюды и заусенцы на краях медных пластин удаляют. Шлифование и полировка поверхности коллектора производятся после проточки на токарном станке и продороживания коллектора. Коллектор шлифуют либо стеклянной шкуркой с зернистостью № 80—100 при большой частоте вращения якоря, либо с помощью карборундовых кругов с предварительно обработанной цилиндрической поверхностью. Стеклянная шкурка прижимается к поверхности коллектора деревянными колодками, обработанными по радиусу коллектора. Так же поступают и в процессе эксплуатации машины для периодической очистки и выравнивания рабочей поверхности коллектора.

§ 61. КРЕПЛЕНИЕ ОБМОТОК РОТОРОВ ТУРБОГЕНЕРАТОРА

Сложность крепления обмоток возрастает с увеличением их массы, диаметра, на котором они располагаются, и частоты вращения якоря или ротора. В наиболее крупных электрических машинах — турбогенераторах, вращающихся с частотой 3000 об/мин, диаметр ротора достигает одного метра. В таких машинах для крепления пазовой части обмотки возбуждения, расположенной на роторе, применяют клинья из дюралюминия марки Д16, обладающего большой механической прочностью.

Заклиновку производят с помощью пневматических устройств, имеющих вертикальные прессы для опрессовки обмотки в пазу и горизонтальные толкатели для продвижения клиньев вдоль паза. Первыми устанавливают в пазы средние клинья — на середину ротора. Обмотку на участке размещения первых клиньев опрессовывают вертикальными прессами и укладывают

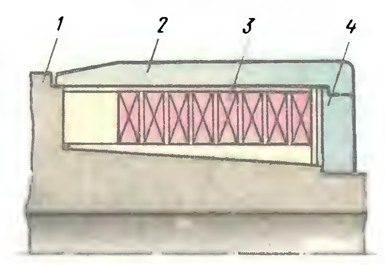


Рис. 159. Бандажное кольцо ротора турбогенератора

на нее прокладки из стеклотекстолита. Клинья, предварительно охлажденные в ванне с жидким азотом, вставляют в пазы с торца ротора и продвигают на место горизонтальными толкателями. После этого вертикальные прессы сдвигают вдоль ротора на длину одного клина и в том же порядке устанавливают следующие клинья.

Лобовые части обмотки ротора крепят массивными бандажными кольцами, изготовленными из высокопрочной немагнитной стали (рис. 159). Бандажные кольца *2* обычно имеют два места посадки: их насаживают на ротор *1* и на центрирующее кольцо *4*, нагревая до 150—230°С (температура зависит от типа ротора и размеров кольца).

Бандажные кольца крупных турбогенераторов — наиболее напряженные в механическом отношении детали, так как во время работы машины на них действуют большие центробежные силы от массы лобовых частей *3* обмотки ротора и собственной массы колец.

Изготовлению бандажных колец и их установке на ротор уделяется много внимания. При перекосах бандажных колец во время насадки, ударах или чрезмерных нагрузках происходят местные концентрации напряжений в металле кольца, что может вызвать его разрушение во время работы и привести к повреждению генератора.

Наиболее прогрессивным способом установки бандажных колец является нагрев индукционным методом предварительно насаженного (не до конца) на лобовые части и отцентрированного кольца и последующая напрессовка на посадочные поверхности с заданным натягом с помощью горизонтального гидравлического пресса, создающего равномерное давление по всему торцу кольца.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Зачем наматывают бандажи на лобовые части обмотки якоря?

2. Как закрепляют проволоку после намотки бандажа?

3. Расскажите, в какой последовательности наматываются бандажи из стеклоленты. Какая стеклолента применяется для намотки бандажей?

4. Как работает механизм натяжения стеклоленты при намотке бандажа?

5. Какое оборудование необходимо для проточки коллектора?

6. Зачем продороживают коллектор?

7. Почему в станках для продороживания необходима корректировка угла поворота коллектора?

8. Как крепятся лобовые части обмотки роторов турбогенераторов?

ГЛАВА XIII

КАТУШКИ ОБМОТОК ВОЗБУЖДЕНИЯ

§ 62. ВИДЫ ПОЛЮСНЫХ КАТУШЕК

Обмотки возбуждения состоят из отдельных катушек, установленных на сердечники полюсов. Такие катушки называются полюсными. В синхронных машинах они располагаются на сердечниках полюсов ротора, в машинах постоянного тока — на сердечниках главных и дополнительных полюсов, укрепленных на неподвижной станине. Конструкция катушек полюсов синхронных машин зависит только от их мощности. В машинах малой мощности они наматываются из изолированного круглого провода, в машинах большей мощности — из прямоугольного изолированного провода и в крупных синхронных машинах — из неизолированной шинной меди.

В машинах постоянного тока конструкция полюсных катушек зависит от их назначения (катушки главных или дополнительных полюсов), от мощности машин и от схемы их возбуждения. На рис. 160 показаны основные схемы соединения обмотки возбуждения: параллельная, последовательная, смешанная. Обмотка дополнительных полюсов соединяется всегда последовательно с якорем. По этой обмотке протекает полный ток машины. Поэтому катушки дополнительных полюсов наматывают из проводов большого сечения: в машинах средней мощности — из прямоугольного изолированного провода и в более крупных машинах — из неизолированной шинной меди. В машинах с параллельным возбуждением (рис. 160, *а*) обмотка возбуждения, расположенная на главных полюсах, вклю-

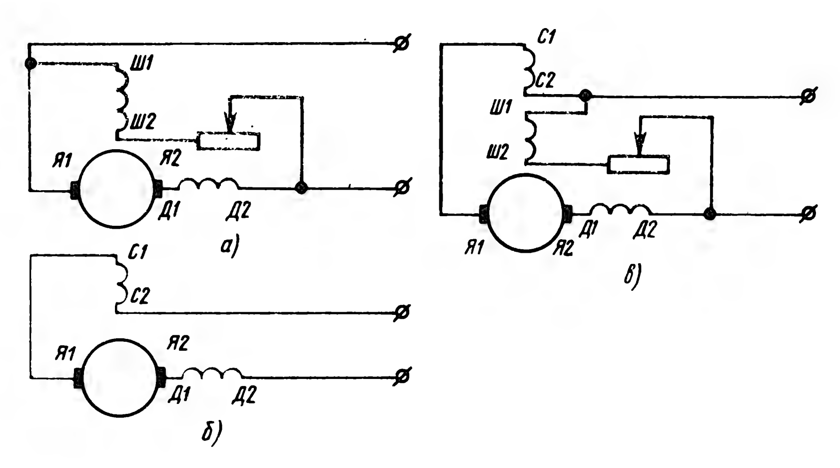


Рис. 160. Схемы соединения обмоток возбуждения машин постоянного тока:
***а* — параллельного, *б* — последовательного, *в* — смешанного**

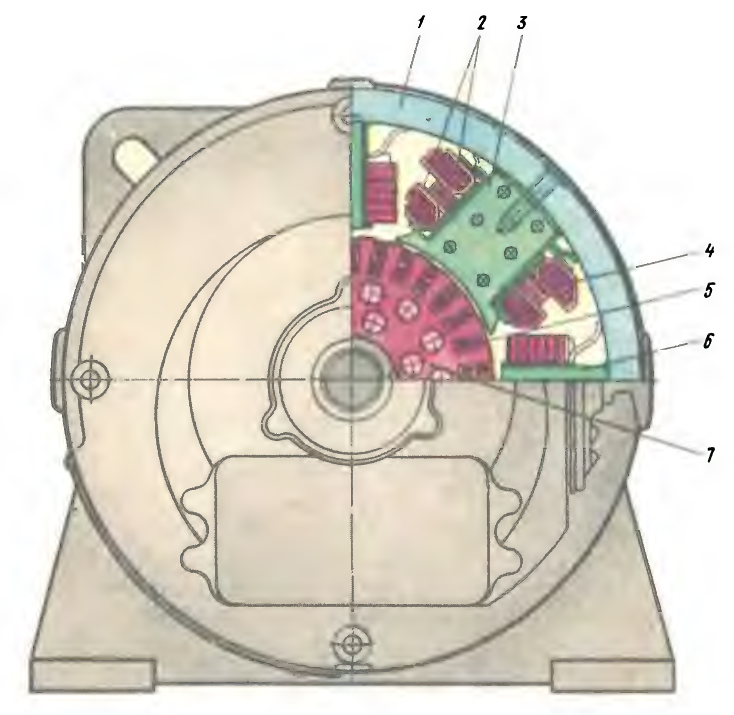


Рис. 161. Расположение обмоток полюсов в машинах постоянного тока:

1 — станина, *2* — обмотка параллельного возбуждения, *3* — сердечник главного полюса, *4* — обмотка последовательного возбуждения (стабилизирующая), *5* — обмотка якоря, *6* — сердечник добавочного полюса, *7* — якорь

чена параллельно с якорем. Катушки главных полюсов, чтобы снизить ток возбуждения, делают с большим числом витков из круглых или в машинах большой мощности из прямоугольных проводов небольшого сечения. В машинах с последовательным возбуждением (рис. 160, *б*) обмотка главных полюсов соединяется с якорем последовательно. Катушки этой обмотки, так же как и катушки дополнительных полюсов, в большинстве случаев наматывают из прямоугольного изолированного провода или из шинной меди. Лишь в машинах малой мощности катушки обмотки последовательного возбуждения наматываются из круглого провода, площадь поперечного сечения которого должна быть рассчитана на полный ток якоря.

В машинах со смешанным возбуждением (рис. 160, *в*) на главных полюсах располагаются катушки и параллельной и последовательной обмоток возбуждения (рис. 161). Они наматываются раздельно: катушки параллельного возбуждения — из круглого или прямоугольного провода малого сечения, а катушки последовательного возбуждения — из круглых или прямоугольных проводов большого сечения или из шинной меди.

Несмотря на то что полюсные катушки и по своей конструкции, и по назначению значительно отличаются друг от друга, по технологии изготовления их можно объединить в три группы: многослойные катушки из круглого или прямоугольного изолированного провода, катушки из неизолированной шинной меди, намотанной плашмя, и из неизолированной шинной меди, намотанной на ребро. Способ изгиба медной шины определяет конструкцию катушек и технологию их изготовления.

§ 63. КАТУШКИ ИЗ ИЗОЛИРОВАННОГО ПРОВОДА

Многовитковые полюсные катушки из изолированного провода имеют два конструктивных исполнения: каркасные и бескаркасные. Каркасные катушки наматываются на каркас из тонкой листовой стали, размер внутреннего окна которого точно соответствует размеру сердечника полюса. Катушки не снимаются с каркаса во время всех дальнейших операций — пропитки, сушки, изолировки — и вместе с ним устанавливаются на сердечники полюсов. Такая конструкция несколько упрощает технологию изготовления катушек и сохраняет целостность изоляции витков, но во время пропитки каркас затрудняет проникновение лака внутрь многослойной катушки. Между слоями и между отдельными проводниками сохраняются воздушные включения и ухудшается отвод теплоты от проводников, находящихся во внутренних слоях.

В современном электромашиностроении большей частью применяют бескаркасную намотку катушек. Провод наматывают правильными рядами на деревянные или алюминиевые шаблоны (рис. 162) с размерами, точно соответствующими сердечникам полюсов машины с учетом изоляции катушек. Вывод от начала катушки выполняют медной лентой, которую припаивают к началу первого витка. После того как катушка снята с шаблона, огибают вокруг нее ленту, подкладывая изоляцию. В катушках, намотанных круглым проводом малого сечения, к началу первого витка припаивают гибкий изолированный провод, который также выводится за корпусную изоляцию после намотки катушки.

Намотка многовитковых катушек на большинстве заводов механизирована (рис. 163, *а*). Для обеспечения правильной намотки витков станок имеет механизм раскладки провода. Станок работает следующим образом (рис. 163, *б*). От приводного двигателя *1* вращение передается на вал шпинделя станка *14* через клиноременную передачу *4* и



Рис. 162. Шаблон для намотки катушек полюсов

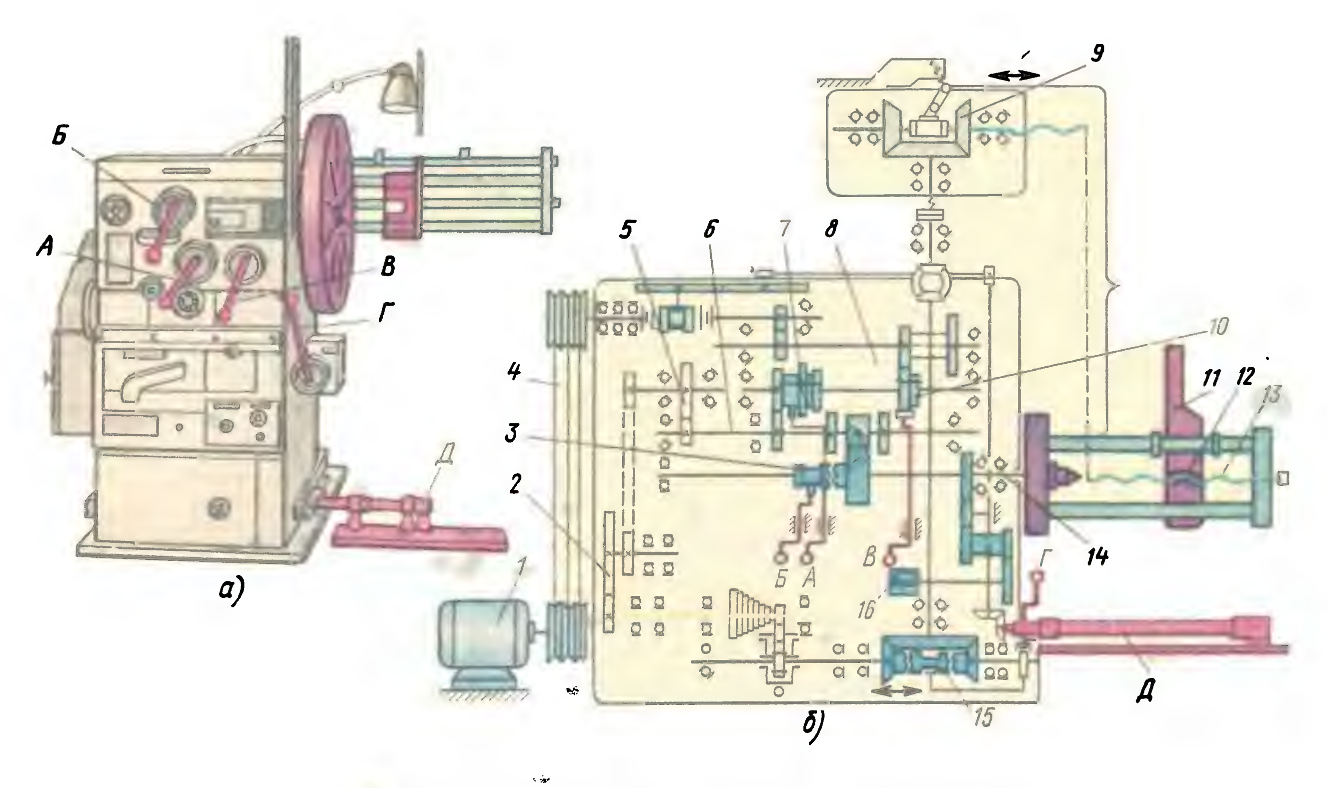


Рис. 163. Намоточный станок для намотки полюсных катушек:
а — общий вид станка, *б* — кинематическая схема

коробку скоростей 8. Изменение частоты вращения шпинделя производится поворотом рукояток *А* и *В*, которые перемещают блоки шестерен 7 и 10 коробки скоростей, сидящие на скользящих шпонках. На валу шпинделя установлена муфта сцепления 3. При ее отключении рукояткой *Б* шпиндель можно поворачивать вручную, что необходимо в начале и в конце намотки для закрепления первых и последних витков и установки выводных концов катушки. Со шпинделем станка жестко сцеплен механизм счетчика оборотов 16, который отсчитывает обороты при механическом и ручном проворачивании шпинделя.

Механизм раскладчика приводится в действие от вала 6 коробки скоростей станка и состоит из каретки 11, сцепленной гайкой 12 с ходовым винтом 13, и двух муфт: автоматического 9 и ручного 15 реверсирования, обеспечивающих изменение вращения ходового вала и возвратно-поступательное движение каретки. Муфта ручного реверсирования приводится в действие рукояткой *Г*. Подача механизма раскладки регулируется установкой различных наборов шестерен 2 и коробкой передач 5 таким образом, чтобы за один оборот шпинделя станка каретка подавалась на шаг, равный диаметру изолированного провода. В расчетах учитывается допуск на толщину изоляции и плотность укладки провода, равный примерно 4% для круглых и 7% для прямоугольных проводов. Двусторонняя муфта 15 связана с пусковой педалью *Д*; когда педаль находится в исходном положении (вверху), муфта отсоединяет двигатель станка и тормозит механизм шпинделя и механизм раскладки; при нажатии педали механизмы станка включаются в работу.

Полюсные многовитковые катушки часто имеют ступенчатую форму: число витков в верхних слоях катушки меньше, чем в нижних. Чтобы витки плотно держались в неполных слоях во время намотки, на место недостающих витков в слое устанавливают закладные кольца из изоляционного материала (рис. 164). Толщина колец делается равной высоте ступени, а ширина — разности полной ширины катушки и ширины меньшей ступени. Реверсирование каретки намоточного станка во время намотки узкой ступени осуществляют вручную без переналадки механизма раскладки, так как число витков в малых ступенях катушек меньше, чем в основной их части.

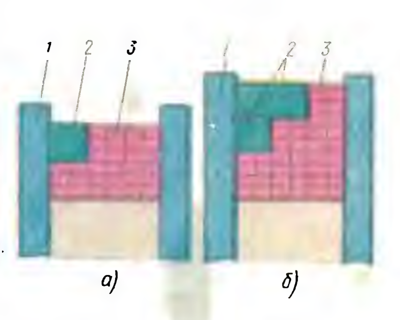


Рис. 164. Установка закладных колец при намотке ступенчатых катушек:

а — с одной ступенью, *б* — с двумя ступенями; *1* — шаблон, *2* — закладные кольца, *3* — проводники обмотки

Катушки, снятые с шаблона, подготовляют к пропитке. Выравнивают внутреннюю поверхность, которая будет прилегать к сердечнику полюса, изолируют и закрепляют выводные концы, неровности вокруг выво-

дов заполняют изоляционной замазкой. Витки катушки до пропитки плохо скреплены друг с другом и могут сползти со своих мест, особенно по краям катушки. Поэтому до пропитки на катушки накладывают часть корпусной изоляции, так называемый стягивающий слой. Остальную корпусную изоляцию укладывают после первой пропитки, после чего катушку пропитывают вторично, чтобы лак заполнил промежутки между слоями корпусной изоляции.

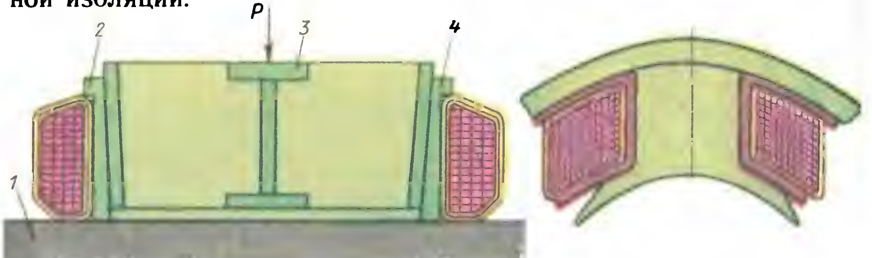


Рис. 165. Пресс для правки внутреннего окна катушки возбуждения

Рис. 166. Изогнутая катушка возбуждения машины постоянного тока малой мощности

Корпусную изоляцию на пропитанные катушки накладывают либо вручную, либо с помощью изолировочных головок, конструкция которых описана в § 7.

Во время изолировки, пропитки и сушки катушки ее внутреннее отверстие может несколько изменить приданные ему на шаблоне форму и размеры. Поэтому после окончательной пропитки катушку в горячем состоянии, пока еще лак или компаунд окончательно не затвердел, правят на пневматических прессах (рис. 165). Катушку укрепляют на столе *1*, в ее внутреннее отверстие устанавливают вкладыши *2* и *4*, между которыми с помощью пневматического пресса вдвигают оправку *3* до упора ее в стол.

Катушки полюсов в машинах постоянного тока малой мощности с небольшим диаметром станины делают изогнутыми, чтобы уменьшить высоту полюсов (рис. 166). Такие катушки наматывают на обычный прямой шаблон, а выгибают одновременно с правкой размеров внутреннего окна.

Далее очищают выводные концы катушки от лака, оставшегося после пропитки, и маркируют буквами Н и К — начало и конец намотки, которые пишут белой эмалью около каждого вывода. В готовой катушке контролируют размеры, измеряют сопротивление провода и проверяют отсутствие витковых замыканий.

§ 64. КАТУШКИ ИЗ НЕИЗОЛИРОВАННОЙ ШИННОЙ МЕДИ, НАМОТАННОЙ ПЛАШМЯ

Намотку катушек из шинной меди плашмя производят на шаблонах, укрепленных на шпинделе намоточных станков. Шина сматывается с бухты. Чтобы ее выправить перед намоткой и

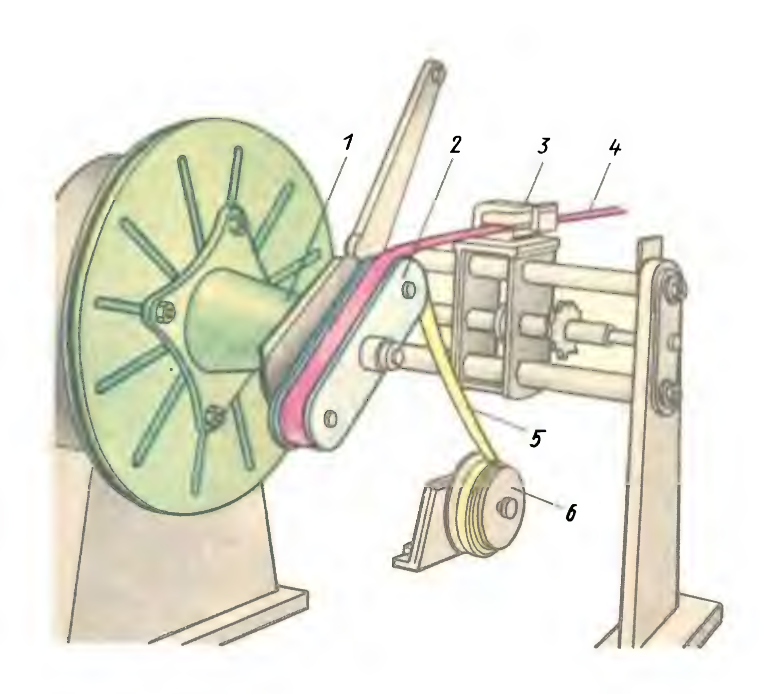


Рис. 167. Станок для намотки катушек из шинной меди плашмя

плотно уложить в шаблон, станок должен развивать большое усилие. В то же время частота вращения шпинделя должна быть малая, чтобы обмотчик имел возможность подправить на шаблоне изгибы шины в процессе намотки каждого витка. Поэтому в приводах намоточных станков устанавливаются мощные понижающие редукторы. В качестве витковой изоляции для катушек, намотанных плашмя, применяют асбестовую ленту толщиной 0,2—0,3 мм и шириной на 2—3 мм больше, чем ширина медной шины. В намоточном станке (рис. 167) шаблон *2* укреплен на шпинделе *1*. Медная шина *4* подается на шаблон через натяжное устройство *3*. Витковая изоляция *5* — асбестовая лента — сматывается с рулона *6* и укладывается одновременно с намоткой витков меди.

Катушки из намотанной плашмя шинной меди могут быть однорядными или двухрядными. Намотка двухрядных катушек (рис. 168, *а*) несколько сложнее, чем однорядных. Их наматывают на шаблон, имеющий двойную ширину — два ручья. Чтобы оба выводных конца катушки располагались с ее верхней стороны, двухрядные катушки наматывают в два приема. Перед намоткой вручную отматывают с барабана 1—2 м шины и на расстоянии примерно 500 мм от ее начала выгибают на ребро, как показано на рис. 168, *б*. Изогнутую шину закрепляют в шаблоне так, чтобы одна ее часть прилегала к одной боковой стороне шаблона, а другая к другой, т. е. чтобы изогнутые части располагались в разных ручьях шаблона. В один ручей наматывают

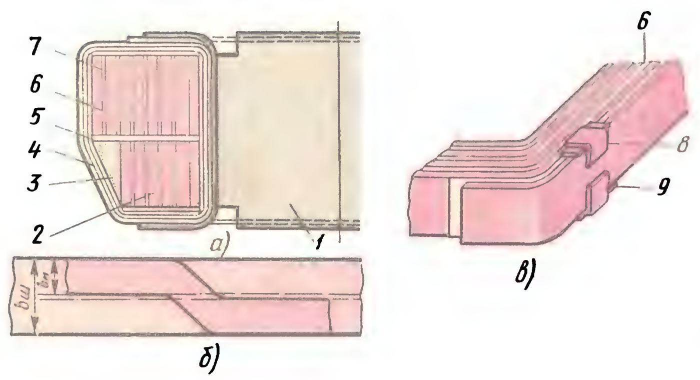


Рис. 168. Двухрядные катушки из шинной меди, намотанные плашмя:

а — положение катушки на сердечнике полюса, *б* — изгиб шины в месте перехода из одного ряда в другой, *в* — крепление последнего витка катушки; *1* — сердечник полюса, *2* — витки неполного слоя, *3* — изоляционная замазка, *4* — корпусная изоляция катушки, *5* — прокладка между слоями, *6* — изоляция между витками, *7* — витки полного слоя, *8* — крепежная скобочка; *9* — изоляция под скобочкой, $b_м$ — ширина медной шины, $b_ш$ — ширина желоба шаблона

первый слой катушки, одновременно устанавливая витковую изоляцию. Под предпоследний виток закладывают скобочку из жести, которая служит для закрепления крайнего витка. После того как намотан последний виток, концы скобочки загибаются (рис. 168, *в*) и припаиваются к наружной поверхности последнего витка. Выводной конец припаивается к последнему витку в месте, отстоящем примерно на полоборота от его конца. Вывод катушки обычно делают из гибкого кабеля и припаивают к шине твердым медно-фосфористым припоем. Закрепив конец витка, шину обрезают или обрубают пневматическим зубилом и приступают к намотке второго слоя. Для этого к началу шины, выведенному перед намоткой в другой ручей шаблона, приваривают встык конец шины от бухты. Место сварки зачищают, устанавливают изоляционную прокладку и, вращая шпиндель в обратном направлении, наматывают нужное число витков в другой ручей шаблона. Выводной конец и последний виток слоя закрепляется точно так же, как и в первом слое.

Наложение корпусной изоляции и пропитка катушек, намотанных из неизолированной шинной меди плашмя, производится так же, как и катушек из изолированного прямоугольного провода. Правку внутренних размеров катушки выполняют два раза: после первой и после второй пропиток. Это вызвано тем, что первые витки катушки наматываются с меньшим натяжением, чем последующие. При нагреве во время пропитки и сушки происходит перераспределение напряжений в меди, вызывающее некоторую деформацию витков и уменьшение внутренних размеров катушки. Для восстановления нужных размеров катушку правят первый раз в горячем состоянии после первой

пропитки, второй раз — после наложения корпусной изоляции и окончательной пропитки и сушки. Размеры вкладышей для первой и второй правки должны быть различными с учетом толщины корпусной изоляции.

§ 65. КАТУШКИ ИЗ ШИННОЙ МЕДИ, НАМОТАННОЙ НА РЕБРО

Намотка шинных катушек на ребро — более сложная операция, чем намотка плашмя, особенно при больших отношениях ширины шинной меди к ее толщине. Для намотки катушек создано несколько типов намоточных станков, позволяющих наматывать шинные катушки с одним или двумя радиусами изгибов (рис. 169).

Катушки с одним радиусом изгиба лобовой части витков устанавливают на узких полюсных сердечниках — дополнительных полюсах и в большинстве полюсов роторов синхронных машин, катушки с двумя радиусами изгибов — на широких сердечниках.

На рис. 170, *а* дана кинематическая схема полуавтоматического намоточного станка ПНК-2 для намотки полюсных катушек

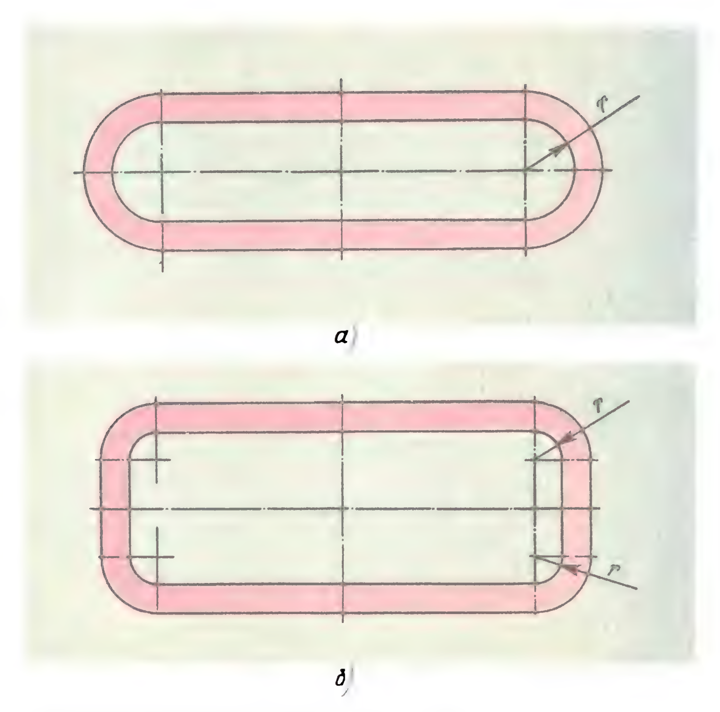


Рис. 169. Витки катушки возбуждения:
а — с одним радиусом изгиба, *б* — с двумя радиусами изгиба

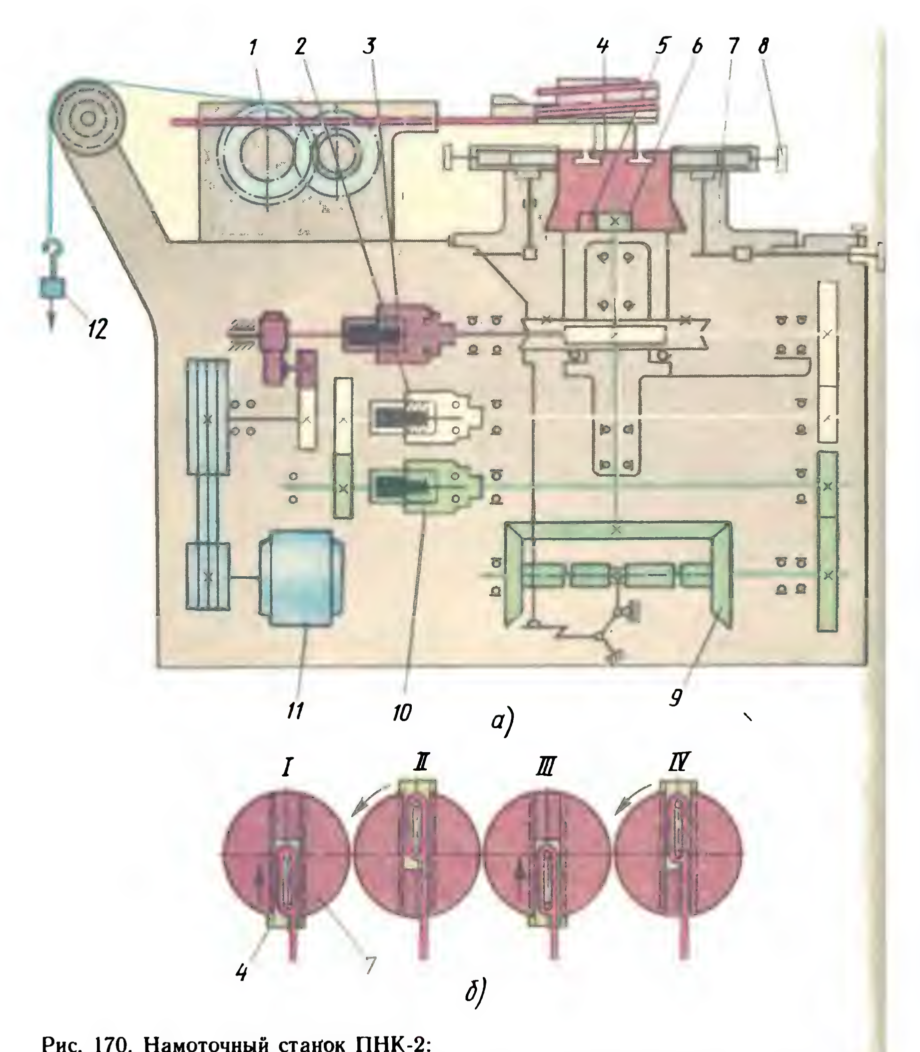


Рис. 170. Намоточный станок ПНК-2:

а — кинематическая схема, *б* — схема взаимного перемещения стола и планшайбы станка

на ребро с одним радиусом изгиба. На массивной станине станка укреплена поворотная планшайба *7* с двигающимся по ней столом *4* с зубчатой рейкой. Поворот планшайбы и движение стола происходят поочередно: при повороте планшайбы стол неподвижен, при движении стола неподвижна планшайба. Приводной двигатель *11* станка соединен клиноременной передачей с распределительным механизмом, состоящим из нескольких магнитных муфт и зубчатых зацеплений. Стол движется при включении муфты *10* через систему шестерен, приводящую во вращение зубчатое колесо *6*, сцепленное с рейкой стола *5*.

В зависимости от положения зубчатых колес реверсивной муфты *9* стол движется в одном или в другом направлении относительно планшайбы. Во время движения стола планшайба удерживается в неподвижном состоянии магнитным тормозом *3*. Поворот планшайбы происходит при включении электромагнитной муфты *2* и одновременном выключении тормоза. В это время стол *4* закреплен неподвижно в одном из своих крайних положений относительно планшайбы фиксирующим болтом *8*.

Процесс формирования витков катушки пояснен на рис. 170, *б*. Положение *I* — планшайба *7* неподвижна; стол *4* двигается от одного крайнего положения к другому, формируя длинную сторону витка. Положение *II* — стол фиксируется в неподвижном состоянии относительно планшайбы; планшайба поворачивается на 180° вместе со столом, формируя изгиб витка. Положение *III* — планшайба неподвижна, стол движется в другую сторону относительно планшайбы, формируя другую длинную сторону витка. Положение *IV* — стол неподвижен, планшайба поворачивается на 180°, формируя второй изгиб витка, и возвращается в положение *I*. Далее процесс намотки повторяется. Все переключения производятся автоматически конечными выключателями, установленными на станине и планшайбе станка. Медная шина во время намотки прижимается к поверхности планшайбы с помощью прижимного устройства *1*, давление которого регулируется грузом *12*.

На станке наматывается непрерывная спираль из шинной меди с заданными размерами витков. Катушки получают, разрезая спираль на части с нужным числом витков.

Аналогично работают и другие станки для намотки полюсных катушек из шинной меди на ребро. Принцип работы их также построен на сложном движении шаблона, обеспечивающем равномерное натяжение шины во время формирования витков катушки.

Намотка шинной меди на ребро всегда вызывает деформацию шины: на внутреннем радиусе изгиба шина утолщается, на внешнем несколько растягивается, и витки катушки непосредственно после намотки не могут плотно прилегать друг к другу. Для придания виткам первоначальных размеров катушку опрессовывают. До опрессовки, чтобы снять остаточные напряжения, появившиеся при изгибе, медь витков отжигают. Для этого катушку помещают в электропечь, нагревают до 600—620°С и выдерживают при этой температуре в течение 30—40 мин в зависимости от сечения медной шины. После этого охлаждают в ванне с водой и на несколько минут помещают в ванну с 5%-ным раствором серной кислоты для удаления с поверхности витков образовавшейся при нагреве оксидной пленки. Кислоту смывают в ванне проточной водой, катушку сушат и передают на опрессовку.

Первая опрессовка имеет своей целью удалить утолщения, образовавшиеся во время изгиба шины на ребро. Для этого

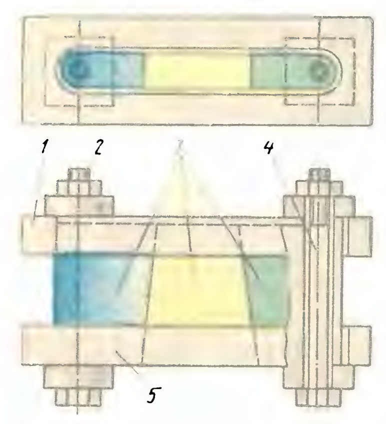


Рис. 171. Шаблон для правки и опрессовки катушек, намотанных из шинной меди на ребро

между витками в местах закруглений прокладывают стальные закаленные пластины и сжимают витки прессом до их полного прилегания торцовыми поверхностями друг к другу.

Во время второй опрессовки правятся внутренние и внешние размеры катушки. Для этой цели применяют разборный шаблон (рис. 171), состоящий из двух щек *1* и *5*, трехклинового сердечника *3* и двух болтов *2* и *4* с шайбами и гайками. Размеры сердечника и щек соответствуют расчетным размерам катушки: ширина и длина сердечника в собранном виде — размерам окна катушки, высота его деталей — высоте, а ширина щек — ширине катушки. Опрессовку проводят в два приема. Сначала выправляются внутренние размеры и высота катушки. Катушку устанавливают на столе пресса на нижнюю щеку шаблона, вкладывают два боковых клина сердечника, устанавливают верхнюю щеку и прессом вдавливают средний клин сердечника. Пока средний клин сердечника не сравнялся с верхней щекой, пресс давит только на клин. После этого давление пресса распространяется также и на верхнюю щеку, которая осаживается вместе с клином до упора пресса в крайние части сердечника. Таким образом правятся размеры внутреннего окна катушки и опрессовываются ее витки до расчетной высоты. После этого давление снимают, шаблон поворачивают набок, устанавливают болты, стягивают катушку между двумя щеками и давлением пресса на боковую поверхность правят наружные размеры катушки. Ограничением хода пресса при этом служит размер боковых щек шаблона.

После опрессовки витки катушки растягивают гармошкой и устанавливают витковую изоляцию — асбестовую бумагу, нарезанную по конфигурации витков с некоторым запасом. Витки катушки зажимают, излишки изоляции с внутренней и наружной стороны срезают ножом и катушки в местах закруглений обтягивают лавсановой лентой для предохранения витковой изоляции от возможного сдвига.

Перед пропиткой катушки зажимают струбцинами и сушат в печи при 110—130°С. После этого струбцины ослабляют и катушки опускают в пропиточную ванну с лаком. Перед сушкой в печи после пропитки струбцины вновь зажимают, а спустя примерно половину времени сушки, катушки вынимают из печи и подтягивают струбцины. После окончательной сушки на катушки накладывают корпусную изоляцию и пропитывают второй раз.

§ 66. ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КАТУШЕК ВОЗБУЖДЕНИЯ КРУПНЫХ СИНХРОННЫХ ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ

Полюсные катушки роторов крупных синхронных гидрогенераторов изготовляют из медных неизолированных шин гибкой на ребро. Технология их изготовления несколько отличается от рассмотренной в § 65 из-за большой массы меди каждой катушки и ее размеров. Масса катушки полюса крупного гидрогенератора достигает 500—600 кг, а масса одной бухты шинной меди, поставляемой заводу, обычно не превышает 60—85 кг, поэтому каждую катушку наматывают из нескольких бухт, сваривая концы шин в торец друг с другом. Катушки наматываются из медных шин шириной до 80 мм при толщине 2—15 мм. Изгиб таких шин на ребро вызывает большое утолщение внутренних участков, которое не удается выровнять прессованием, как в катушках меньших размеров. Чтобы избежать утолщения при изгибе витков, катушки крупных гидрогенераторов наматывают не из прямоугольных шин, а из шин специального профиля. Поперечное сечение таких шин имеет вид, показанный на рис. 172. Боковые поверхности шины параллельны лишь на половине ее ширины. Сторона, обращенная к внутреннему радиусу изгиба, постепенно утоньчается с углом скоса в несколько градусов (приблизительно 2—4°), что компенсирует ее утолщение при изгибе. Внешняя сторона витков скошена «топориком» (см. рис. 172). Это увеличивает поверхность соприкосновения витков катушки с охлаждающим воздухом, так как с наружной стороны катушки гидрогенераторов не изолируются. Свободное пространство между витками в частях, прилегающих к сердечнику полюса, после сборки катушки заполняется асбестовой бумагой и клеящим лаком.

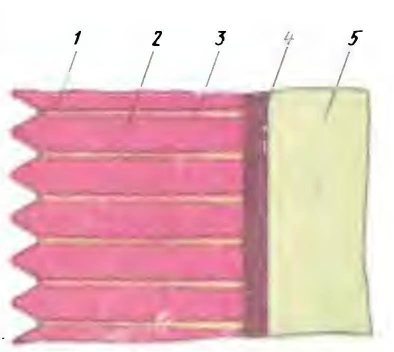


Рис. 172. Катушки из шинной меди обмоток возбуждения гидрогенераторов:

1 — изоляция между витками, *2* — витки катушек из шинной меди специального профиля, *3* — полоски асбеста для заполнения промежутков между шинами, *4* — изоляция катушки от корпуса, *5* — сердечник полюса

Катушки гидрогенератора наматывают на станке (рис. 173). От приводного двигателя *1* через плоскоременную передачу и систему зубчатых передач получает вращение шестерня *2*, закрепленная на вертикальном валу. С шестерней сцеплено зубчатое фигурное основание оправки *3*. Движение оправки по плоскости стола ограничивается вертикальным пальцем *4*, проходящим через овальный паз *5* оправки. Шестерня *2* сообщает оправке возвратно-поступательное и вращательное движение. Сверху оправки укреплены стальные цилиндры — штыри *6*, формирующие за-

кругления витков катушки. После намотки нужного числа витков шина приподнимается и обрезается пневматическими ножницами 7. После намотки катушки отжигают, нагревая витки током, чтобы не образовалась окалина. Далее следуют операции рихтовки витков, опрессовки и правки размеров катушки, аналогичные рассмотренным в § 65.

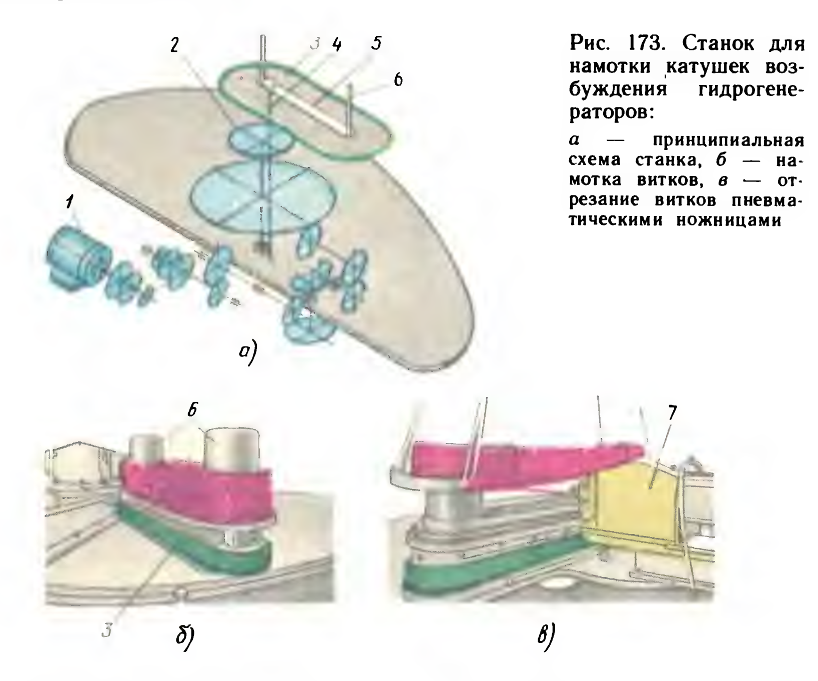


Рис. 173. Станок для намотки катушек возбуждения гидрогенераторов:

а — принципиальная схема станка, *б* — намотка витков, *в* — отрезание витков пневматическими ножницами

Катушки гидрогенераторов не пропитывают. Их витковая изоляция — асбестовая бумага толщиной 0,3—0,5 мм — нарезается по форме витков и приклеивается к широкой поверхности витков клеящим лаком. Катушки для этого устанавливают на стеллажах, раздвигая витки. На более тонкие прямолинейные участки витков, обращенные к сердечнику полюса, наклеивают дополнительные полоски асбестовой бумаги, чтобы компенсировать утоньчение меди в этих местах (см. рис. 172).

Междувитковую изоляцию запекают, предварительно отрихтовав и выровняв нагретую катушку. Запечку производят под давлением при температуре, зависящей от состава лака и размеров катушки. Охлажденную после запечки катушку очищают от остатков клеящего лака, подрезают излишки витковой асбестовой изоляции и лакируют всю ее поверхность.

Контроль готовых катушек заключается в проверке их размеров и испытании витковой изоляции. Испытания изоляции производят десятикратным по сравнению с номинальным испытательным напряжением. Катушка при этом устанавливается под пресс в холодном состоянии.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как может быть соединена обмотка возбуждения машины постоянного тока с обмоткой якоря?

2. Как работает станок для намотки многовитковых полюсных катушек обмотки возбуждения?

3. Для чего нужны закладные кольца при намотке ступенчатых катушек?

4. Как правят внутренние размеры многовитковых катушек?

5. Опишите работу станка для намотки катушек из шинной меди плашмя.

6. Как закрепить последние витки катушек, намотанных из шинной меди плашмя?

7. Полюсные катушки каких машин наматывают из шинной меди на ребро?

8. Как работает станок для намотки катушек из шинной меди на ребро?

9. Какого профиля медные шины используют для намотки полюсных катушек крупных гидрогенераторов?

ГЛАВА XIV

ПРОПИТКА И СУШКА ОБМОТОК

§ 67. ПРОПИТОЧНЫЕ СОСТАВЫ И МЕТОДЫ ПРОПИТКИ

Пропитка обмоток электрических машин повышает их надежность. Пропиточные лаки, проникая между проводниками катушек и заполняя воздушные промежутки между слоями изоляции, делают обмотку монолитной; повышаются механическая и электрическая прочность изоляции и ее теплопроводность. Пленка, образующаяся на поверхности пропитанной обмотки, препятствует проникновению в нее влаги и паров масел из окружающего воздуха, оказывающих вредное действие на электроизоляционные материалы. Перед пропиткой обмотку обязательно сушат, чтобы удалить из ее изоляции влагу и обеспечить более полное заполнение пропиточным составом всех пустот в обмотке и пор изоляции.

Для пропитки применяют лаки с растворителями, лаки без растворителей и компаунды.

Лаки с растворителями состоят из основы лака (50—55% объема) — натуральных или синтетических смол и растворителей — легко испаряющихся веществ (ксилола, толуола и др.), служащих для разжижения основы лака. В состав лака добавляется также некоторое количество пластификаторов, придающих гибкость застывшей лаковой пленке, и сиккативов — веществ, ускоряющих процесс отвердевания основы лака после

пропитки. При добавлении растворителей пропиточный состав разжижается и во время пропитки основа лака проникает внутрь обмотки и остается там после испарения растворителей. Однако объем, занятый растворителем после его испарения, остается свободным и его снова заполняет воздух. Поэтому пропитку производят не один, а два или три раза с обязательной промежуточной сушкой. Этим достигается более полное заполнение всех пустот основой лака.

Для пропитки обмоток с изоляцией классов нагревостойкости Е и В наибольшее распространение получили лаки с растворителями МЛ-92 и МГМ-8, основой которых служат натуральная глифталевая смола; с изоляцией класса нагревостойкости F — лаки ПЭ-933 и ПЭ-993, основа которых состоит из синтетических полимерных веществ и смол; с изоляцией класса нагревостойкости Н — лаки КО-916К и КО-964Н, имеющие высокую нагревостойкость, пригодные для пропитки обмоток влагостойкого тропического и химостойкого исполнений.

Пропитка в лаках с растворителями производится путем погружения в лак или заполнения пропиточным составом лаковой ванны с установленными в ней изделиями. Оборудование для пропитки занимает много места, а процесс пропитки сопровождается выделением большого количества летучих — паров растворителей. Поэтому для пропитки выделяют отдельные участки цехов и оборудуют их мощной системой вентиляции.

Лаки без растворителей на 100% состоят из основы лака, поэтому более полное заполнение обмотки достигается быстрее, чем при применении лаков с растворителями. Широкое распространение в современном электромашиностроении получили лаки без растворителей КП, состоящие из полиэфирных смол с добавкой кремнийорганической смолы (лак КП-34) или эпоксидной смолы (лак КП-103). Лаки этого типа становятся жидкотекучими и легко проникают внутрь обмотки при нагреве их до 70—80°С, а при 150—160°С быстро отверждаются под действием инициатора — перекиси бензоила, вводимого в состав лака до пропитки.

Оборудование для пропитки лаками без растворителей занимает относительно мало места. Это позволяет встраивать его непосредственно в технологические линии изготовления электрических машин. Сравнительно небольшое количество паров лака, выделяющихся во время пропитки, удаляется вентиляторами, смонтированными в пропиточных установках.

Компаундами называют пропиточные составы, жидкие в нагретом состоянии в момент их применения и твердеющие после охлаждения в результате происходящих в них химических реакций. Компаунды, твердеющие при охлаждении, называют термопластичными. При повторном нагреве они снова размягчаются и опять твердеют при охлаждении. К таким компаундам относятся битумные. Ранее их применяли для пропитки обмоток высоковольтных машин с непрерывной изоляцией из микаленты и

обмоток машин низкого напряжения с усиленной влагостойкой изоляцией. В настоящее время применение битумных компаундов резко сокращается, так как ими нельзя пропитывать обмотки, выполненные из проводов с эмалевой изоляцией. Температура размягчения битумных компаундов не превышает 125—130°С, поэтому ими пропитывают лишь изоляцию обмоток с классом нагревостойкости B, находящихся на неподвижных частях машины, т. е. изоляцию статоров в машинах переменного тока или катушек возбуждения в машинах постоянного тока.

Для пропитки изоляции обмоток современных электрических машин широко распространены компаунды, затвердевающие в результате химических процессов, происходящих в них после пропитки изоляции обмоток во время запечки при высокой температуре. Такие компаунды называют термореактивными, так как после затвердевания они не могут быть снова размягчены. К термореактивным относятся компаунды на основе эпоксидной смолы. Они служат для пропитки изоляции машин высокого напряжения, состоящей из нескольких слоев слюдинитовой или слюдопластовой ленты, намотанной вполнахлеста, или гильзовой изоляции из тех же изоляционных материалов. Для затвердевания изоляции в состав компаунда вводят отвердитель. После запечки термореактивный компаунд образует прочный монолитный слой, имеющий хорошие влагостойкость, электрическую и механическую прочность. По нагревостойкости такая изоляция относится к классу F.

§ 68. СУШКА

Сушка перед пропиткой. Обмотка перед пропиткой подвергается предварительной сушке, так как изоляционные материалы в своих порах и капиллярах содержат некоторое количество влаги, которая снижает электрическую прочность изоляции и препятствует проникновению в нее пропиточного состава. Длительность и температура сушки зависят от класса нагревостойкости и конструкции изоляции обмотки, степени ее увлажнения и методов сушки. Температура сушки для изоляции класса нагревостойкости B составляется в среднем 120—140°С, длительность — 2—6 ч.

Для более полного удаления влаги из обмотки применяют вакуумную сушку, т. е. сушку в камерах, позволяющих чередовать атмосферное давление и разрежение. Обмотка первоначально нагревается до заданной температуры при атмосферном давлении, после чего в камере создается пониженное давление, равное 13—67 кПа (10—50 мм рт. ст.), при котором происходит интенсивное удаление влаги из изоляции. Вакуумирование позволяет, кроме того, уменьшить температуру сушки по сравнению с сушкой при нормальном давлении на 20—30°С, что ослабляет процесс старения изоляции во время нагрева.

Сушка после пропитки. После пропитки в лаках, содержащих

растворители, сушка необходима для удаления растворителя из слоев изоляции и для затвердевания основы лака. Процесс сушки разделяют на два периода. В первом происходит разогрев обмоток при одновременном удалении растворителей. Температура в этом периоде не должна превышать 100—120°С, так как при более высоком нагреве может произойти частичное запекание пленок лака до полного удаления растворителя, что затруднит дальнейшую сушку обмотки. Длительность сушки при этой температуре составляет 2—4 ч. Во втором периоде сушки после испарения растворителя происходит запечка основы лака внутри изоляции. Температуру в сушильной камере повышают до 130—145°С для изоляции класса нагревостойкости B, до 150—160°С для класса F и 180—200°С для запекания лаков на кремнийорганической основе (КО-916К, КО-964Н), относящихся к изоляции класса Н. Длительность сушки при этой температуре составляет в среднем 6—16 ч и зависит от марки лака и конструкции изоляции.

После пропитки в лаках, не содержащих растворителей, обмотку сушат, чтобы произошло запекание лака по всей ее толщине и обмотка приобрела монолитность, а на ее поверхности образовалась твердая лаковая пленка.

Существуют несколько способов сушки обмоток электрических машин: конвекционный, терморадиационный, метод индукционного нагрева и токовый.

Наиболее распространена сушка в печах (конвекционный способ), хотя она наиболее длительна. Наружная поверхность изделия нагревается потоком теплого воздуха.

При наружном обогреве в первую очередь подсыхает верхний слой изоляции. На нем образуется пленка лака, затрудняющая испарение растворителя из внутренних слоев изоляции. Преимущество этого метода заключается в возможности одновременной сушки большого числа катушек или статоров с уложенной обмоткой, которые загружают в одну сушильную камеру, в удобстве контроля за температурой сушки и устройства программного управления режимом сушки.

Терморадиационный метод сушки состоит в нагреве пропитанных деталей в инфракрасных лучах. Для сушки применяют специальные лампы накаливания с зеркальными отражателями, трубчатые электронагреватели или металлические плиты, которые при нагреве до 300—450°С излучают инфракрасные лучи.

Индукционный способ сушки заключается в нагревании обмотки статоров или якорей вихревыми токами, возникающими в стали их сердечников под влиянием переменного магнитного поля. Магнитное поле создается индуктором. Индукторы в зависимости от конструкции питаются током высокой или промышленной частоты. Процесс сушки при индукционном способе протекает интенсивно, так как вначале разогреваются слои изоляции, прилегающие к стенкам пазов. Это создает более благоприятные условия для удаления растворителя из лака. Индукци-

онный способ сушки применяется также в установках для струйной пропитки статоров и якорей машин небольших габаритов.

Токовый способ сушки основан на нагревании обмотки проходящим по ней током. Он наиболее удобный и экономичный, так как не требуется громоздкого оборудования (сушильных печей, индукторов и т. п.). Для нагрева используют большей частью переменный ток промышленной частоты. При этом нагрев происходит за счет потерь в проводниках обмотки и потерь в стали магнитопровода. Обмотки равномерно нагреваются по всему своему объему, что способствует сокращению времени сушки. При таком способе сушки необходимо правильно выбрать силу тока. При слишком большом токе внутренние слои изоляции, прилегающие к проводникам обмотки, перегреваются, что вызывает ускоренное старение изоляции. При слишком малом токе увеличивается продолжительность сушки.

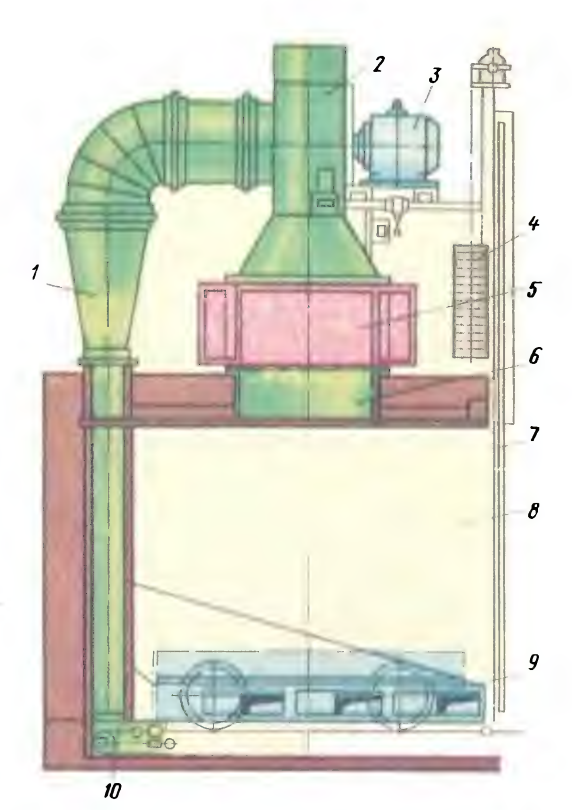


Рис. 174. Тупиковая сушильная печь

В мелкосерийном производстве электрических машин для сушки в основном используют конвективный метод. Сушку производят в так называемых тупиковых сушильных печах.

Сушильная печь (рис. 174) представляет собой камеру *8* с железным полом, в которую вкатывают тележку *9* с установленными на нее катушками или сердечниками с обмоткой. Дверцы *7* камеры стальные, обычно подъемные с противовесом *4*, что позволяет без труда открывать их. В потолке камеры установлен калорифер *5* с трубчатыми электронагревателями. Над калорифером находится вентилятор *2*, приводимый в движение электродвигателем *3*. Воздух от вентилятора, нагреваясь в калорифере, проходит в отверстие *6* в потолке камеры и обдувает установленные для сушки изделия. После этого через отверстие *10* у пола сушильной камеры по воздуховоду *1* воздух возвращается к вентилятору. Температура в камере регулируется автомати-

чески по данным установленных в камере термодатчиков. В зависимости от их показании отключаются или включаются секции калорифера. Насыщенный парами растворителя воздух отводится от печи, а вентилятор засасывает чистый воздух из цеха. Количество отводимого воздуха регулируется положением заслонок в воздуховоде.

В первый период сушки, когда испарение растворителей наиболее сильно, заслонки открыты и от печи отводится практически весь насыщенный парами растворителя воздух. Во время дальнейшей сушки заслонки прикрывают; нагретый воздух циркулирует по замкнутому циклу и температура внутри печи повышается. Время выдержки в печи и температурный режим указываются в технологической документации на каждое изделие и определяются размерами деталей, конструкцией их изоляции и маркой растворителя. Чем выше температура сушки, тем интенсивнее происходит испарение растворителя, быстрее загустевает лак и время сушки сокращается. Но чрезмерное увеличение температуры вызывает усиленное старение изоляции. Поэтому температура и продолжительность сушки строго регламентированы для каждого изделия.

§ 69. ПРОПИТКА ЛАКАМИ С РАСТВОРИТЕЛЯМИ

Распространенным методом пропитки лаком с растворителями является погружение в него всего изделия. В ванну с лаком погружают обмотанный статор или ротор. Оборудование пропиточных участков и степень его механизации определяются количеством выпускаемых на заводе изделий, их типом и массой.

На заводах с крупносерийным производством устанавливают пропиточно-сушильные конвейеры, в которых процессы пропитки и сушки обмоток полностью механизированы. При мелкосерийном производстве отдельные изделия погружают в ванну с лаком, а сушку производят в тупиковых печах. Сверху ванны (рис. 175) установлен шкаф *1*, сваренный из угловой стали и обшитый стальным листом. Через дверцу шкафа на поддон *3* загружают обмотанные статоры или роторы машин или отдельные катушки, например катушки возбуждения машин постоянного тока. Подъемный механизм *2* опускает загруженный поддон в ванну с лаком *4*. После выдержки в течение заданного в зависимости от габаритов изделий и конструкции изоляции времени в лаке поддон вынимают из ванны. Пропиточные ванны оборудуются вытяжной вентиляцией, препятствующей проникновению паров растворителя в помещение цеха.

После того как пропитка закончена, изделия выдерживают в течение 15—30 мин для стекания излишков лака. На поверхностях сердечников статоров и якорей, валов роторов, выводных концов обмоток лак не должен оставаться. Его смывают сразу же растворителем после пропитки. Если этого не сделать вовре-

мя, лак при сушке в этих местах затвердеет и удалить его будет очень трудно.

Чтобы во время загрузки и выгрузки изделий избежать длительного контакта с окружающей средой большой открытой поверхности лака в ванне, используют так называемый метод нижней подачи лака. В пропиточных устройствах такого типа (рис. 176) лак до пропитки находится в закрытом резервуаре *14*. Предназначенные для пропитки статоры и роторы устанавливают на пропиточных стендах *7* и *11*, после чего в стенды подается лак из резервуара по трубам *13*. Для этого в резервуаре над лаком повышают давление воздуха, открывая кран *2*, соединяющий резервуар с заводской магистралью сжатого воздуха *5*, затем открывают краны *9*, вращая стержни *8*, и лак поступает из резервуара в пропиточные стенды. После их заполнения краны *9* закрывают. По прошествии времени, необходимого для пропитки, кран *2* устанавливают на выпуск воздуха из резервуара и вновь открывают краны *9*. Лак перетекает в резервуар. Сжатый воздух из магистрали перед входом в резервуар очищается в фильтре *4* и отстойнике *3*. По мере расхода лака резервуар пополняется из лакохранилища по лакопроводу *15* с помощью насоса *1*. Остатки грязного лака из пропиточных стендов выпускают через кран *10*. Летучие, выделяющиеся во время пропитки, удаляются с помощью вытяжной вентиляции *6*. Крышки стендов для загрузки и выгрузки изделий открываются с помощью пневматического привода, включаемого краном *12*. Более полное заполнение изоляции основой лака достигается пропиткой обмотки в автоклавах при повышенном (200—300 кПа) давлении.

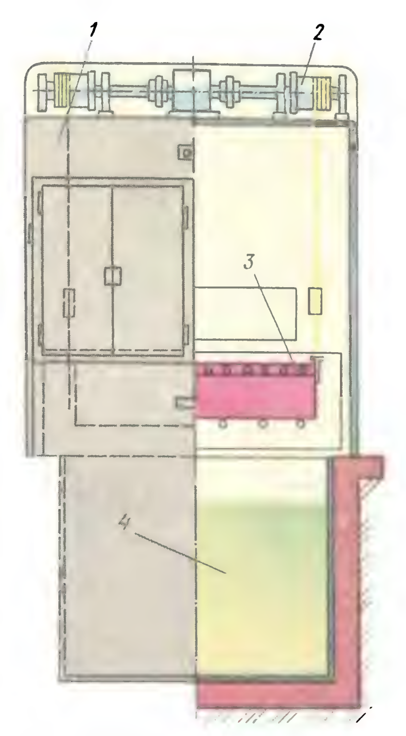


Рис. 175. Ванна для пропитки катушек

На заводах с крупносерийным производством электрических машин для пропитки лаками с растворителями и сушки обмоток устанавливают сушильно-пропиточные агрегаты, в которых участки сушки и пропитки объединены общей транспортной системой — цепным конвейером. Обмотанные статоры или роторы закрепляются над подвесках цепного конвейера и последовательно проходят различные участки агрегата — сушильные камеры и пропиточные ванны, расположенные на одном или в целях экономии производственной площади на нескольких ярусах. Рядом

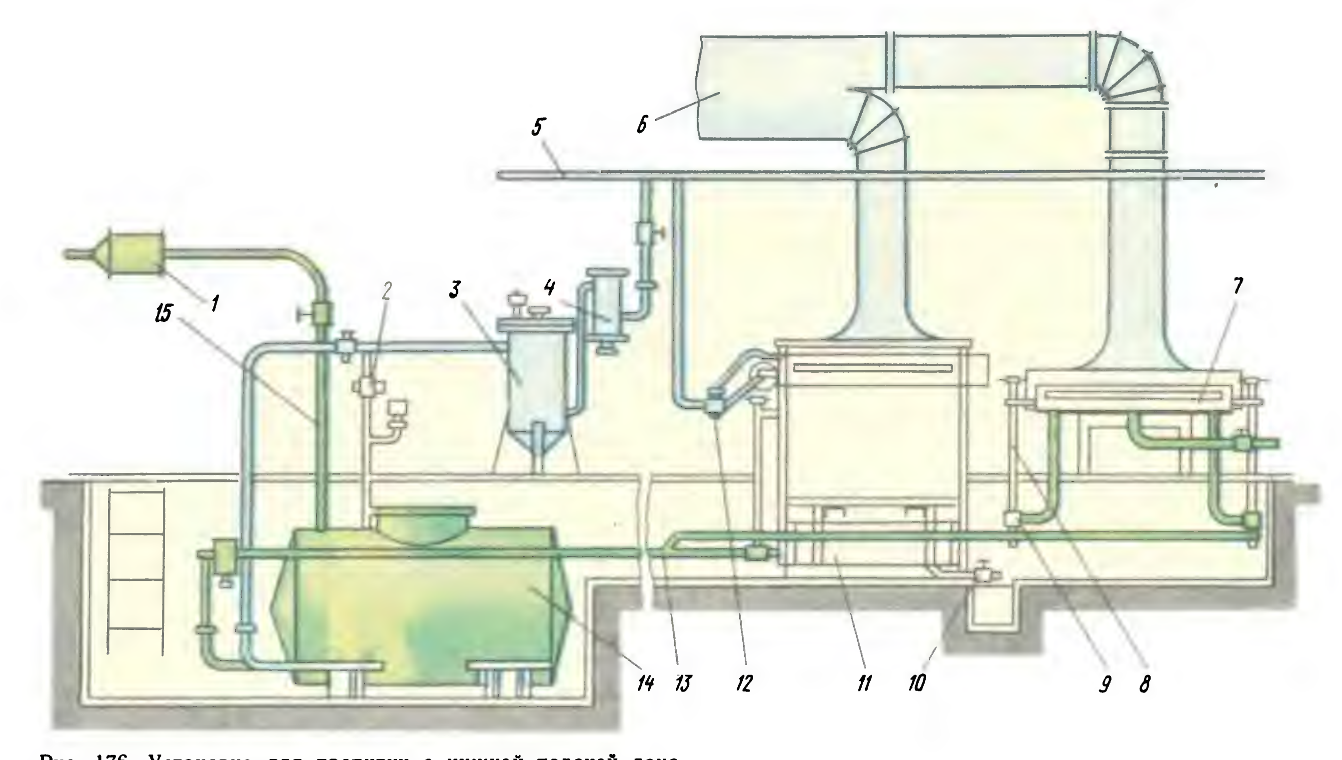


Рис. 176. Установка для пропитки с нижней подачей лака

с сушильной камерой в углублении пола располагается пропиточная ванна. Над ванной трасса конвейера понижается и закрепленные на подвесках изделия полностью погружаются в лак. После участка пропитки конвейер вновь поднимается и проходит над наклонным лотком, по которому излишки лака стекают с вынутых из пропиточной ванны изделий. Металлические поверхности изделий и выводные концы обмоток замывают, и конвейер перемещает изделия в сушильную печь, которая разделяется перегородкой на две зоны: в первой зоне температура меньше — в ней происходит удаление растворителей, во второй зоне с большей температурой запекается основа лака. По выходе из печи изделия перемещаются к месту разгрузки, а при двукратной пропитке — во вторую ванну и сушильную печь.

Агрегат оборудован вытяжной вентиляцией, исключающей попадание летучих в помещение цеха. Калориферы, установленные в сушильных печах, обеспечивают равномерный нагрев всего их объема до заданной температуры. Скорость движения конвейера и длина его трассы в каждом из участков агрегата рассчитаны таким образом, чтобы в каждом из них — пропиточной ванне, первой и второй зонах сушильной печи — изделия находились определенное режимом пропитки и сушки время.

При пропитке методом погружения в порах изоляционных материалов и в промежутках между внутренними слоями изоляции могут остаться воздушные включения, которые препятствуют заполнению их лаком. Чтобы избежать этого, разработан метод пропитки обмоток в вакууме и под давлением. Пропитка по этому методу состоит в том, что после предварительной сушки изделия поступают в автоклав, в котором выдерживаются при низком давлении (до 2,7 кПа). Затем в автоклав подают лак. Отсутствие воздуха в порах изоляции и в промежутках между проводниками обмотки и слоями изоляции дает возможность полностью заполнить их лаком. Для лучшего проникновения лака в глубь изоляции после того, как автоклав заполняется, давление в нем повышают, что еще более способствует лучшему заполнению лаком всех пустот в изоляции. После окончания пропитки лак из автоклава сливают и снова понижают давление. В результате этого летучие вещества быстро испаряются. Лак загустевает и практически не вытекает из пропитанной обмотки — после выемки из автоклава и в начальный период сушки.

Для пропитки обмотки в вакууме и под давлением на многих предприятиях установлены высокопроизводительные пропиточно-сушильные установки, разработанные в Венгерской Народной Республике. Они носят название АВБ (AVB). Установка (рис. 177) работает по типу пропиточно-сушильного конвейера, рассмотренного в начале этого параграфа. В отличие от него в установке АВБ после сушильной камеры *1* находятся автоклавы *2*, представляющие собой шарообразные емкости, разделяющиеся во время загрузки и выгрузки изделий на две части. В рабочем положении обе части автоклава плотно сжаты и обра-

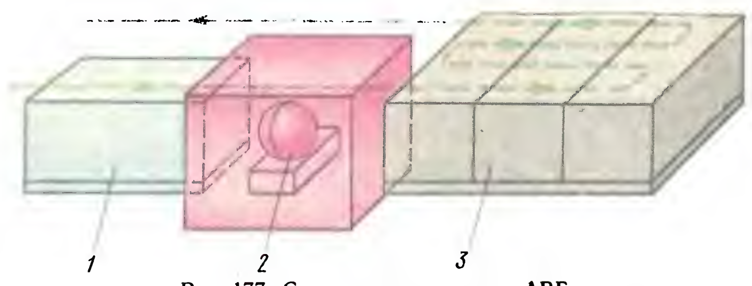


Рис. 177. Схема установки типа АВБ

зуют герметизированную камеру, в которой создается нужное давление. Лак подается в автоклав и отводится из него по трубопроводам. После автоклава изделия поступают в сушильную печь *3*. Все процессы — сушка до пропитки, изменение давления в автоклаве, подача и откачка лака, выемка изделий и перенос их в сушильную печь — выполняются по заранее заданной программе. Движение конвейера прерывистое (на рис. 177 показано пунктиром). Время остановок и скорость движения рассчитывается исходя из условий соблюдения заданных режимов сушки и пропитки изделий.

Размеры изделий, которые можно пропитывать в установках АВБ, зависят от размеров автоклава. В настоящее время выпускаются установки с автоклавами, имеющими внутренние ∅ 484, 780 и 876 мм. Это позволяет размещать на подвеских конвейера сразу несколько изделий. Так, например, в автоклаве с внутренним ∅ 876 мм можно поместить для пропитки подвеску с 20 сердечниками обмотанных статоров длиной 230 мм.

Недостатком этих установок являются необходимость защиты выводных концов обмотки от попадания на них лака и сложность очистки внутренней поверхности статоров от остатков лака. Зачистку статоров производят после их выгрузки круглой карцовочной щеткой с пневматическим приводом.

§ 70. ПРОПИТКА ЛАКАМИ БЕЗ РАСТВОРИТЕЛЕЙ

Во время пропитки лаками без растворителей выделение летучих невелико. Оборудование для пропитки занимает мало места и его устанавливают непосредственно в обмоточных цехах, встраивая в технологическую линию изготовления статоров или якорей.

Статор или якорь устанавливают для пропитки под углом 20° в приспособление (рис. 178). Обмотанный статор *4* нагревают до 80—100°С и вращают с частотой 20—30 об/мин. На наружную и внутреннюю поверхности лобовых частей *1* обмотки через сопла *3* подают тонкой струей *2* пропиточный лак (рис. 178, *а*). Поэтому такой метод называют струйным. Лак, попадая на нагретую обмотку, разжижается и проникает внутрь пазов между

проводниками и слоями изоляции. Во время подачи лака нагрев обмотки продолжается, но ее температура не превышает определенного уровня, так как тепловая энергия расходуется на нагревание лака. После прекращения подачи лака статор поворачивается в горизонтальное положение. Вращение и нагрев обмотки продолжается (рис. 178, *б*). Лак равномерно распределяется по

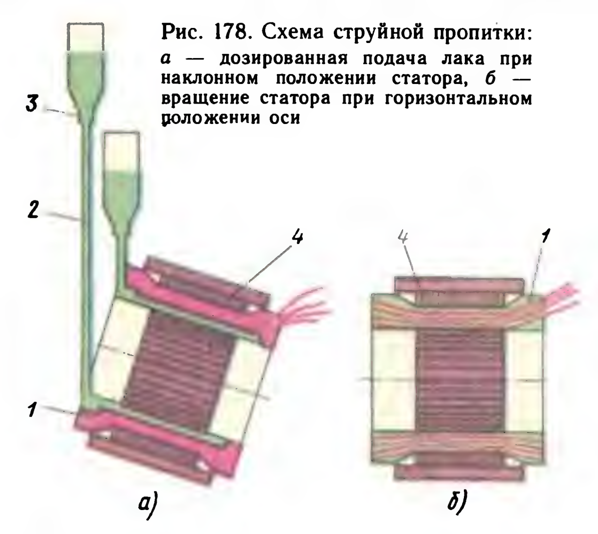


Рис. 178. Схема струйной пропитки:
а — дозированная подача лака при наклонном положении статора, *б* — вращение статора при горизонтальном положении оси

объему лобовых частей обмотки и в пазах статора, а из-за прекращения подачи холодного лака температура обмотки повышается. Лак постепенно загустевает и в конце процесса пропитки полностью затвердевает, цементируя проводники обмотки и изоляцию.

Установка УПС-4 для пропитки статоров асинхронных двигателей (рис. 179) имеет вращающийся стол *8* с восемнадцатью приспособлениями, служащими для закрепления сердечников статоров *4*, устройство для дозирования *2* и подачи лака *3*, привод вращения стола *1* и привод вращения статоров *7*, устройство для токового нагрева обмоток — коллектор *5* и токосъемник *6*. Все механизмы размещены в корпусе *9* со смотровыми окнами и патрубком, который подключается к вентиляционной сети для отвода паров лака.

При загрузке сердечники статоров устанавливаются на приспособления и выводные концы их обмоток подключают к питающей сети переменного тока пониженного напряжения. Стол совершает прерывистое вращательное движение под действием поворотного механизма *1*, который включается через определенные промежутки времени шаговым двигателем. После очередного шага каждый сердечник статора, находящийся на приспособлении, последовательно занимает одно из восемнадцати положений — позиций. На 1-й и 2-й позициях происходит нагрев обмотки током до 80—100°С. На 3, 4 и 5-й позициях на поверхность

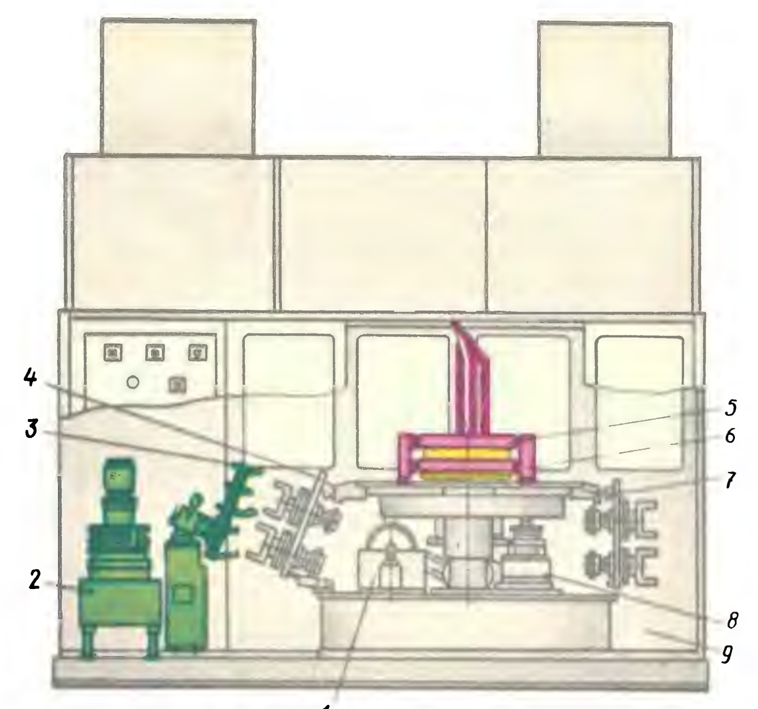


Рис. 179. Установка для пропитки статоров УПС-4

лобовых частей обмотки подаются через два сопла дозы пропиточного лака. Сердечники в это время находятся в наклонном положении и вращаются с частотой 20—30 об/мин. На следующих позициях — до 16-й сердечники устанавливаются в горизонтальное положение и продолжают вращаться. Лак равномерно распределяется по обмотке в лобовых и пазовых частях, нагрев обмотки увеличивается и происходит его отверждение. На 16-й позиции питание обмотки током прекращается и на позицию выгрузки сердечник поступает несколько охлажденным.

На установке УПС-4 все работы, кроме установки, выгрузки и подсоединения выводных концов обмотки, выполняются автоматически.

Время выдержки сердечников статоров на каждой из позиций определяется их размерами. При пропитке статоров с наружным диаметром до 100 мм производительность установки достигает 120 сердечников/ч, а с наружным диаметром 149 мм — вдвое меньше.

Статоры, обмотка которых не может быть равномерно нагрета током, например в многоскоростных машинах с двумя обмотками, нагревают индукционным способом. В установках УПС-2 и УПС-5 на приспособлениях для закрепления статоров установлены индукторы (рис. 180), в каждый из которых вкладывается статор *1*. Обмотка индуктора *3* питается переменным

током. Переменный поток индуктора *2*, проходя по магнитопроводам статора и индуктора, нагревает их и обмотку. В течение всего процесса пропитки и сушки статоров, который происходит так же, как и в описанных ранее установках, статоры находятся в индукторах. Перемещение статоров от одной позиции к другой происходит не на поворотном столе (как в установке УПС-4), а линейно. С помощью индукторов нагревают также якоря машин постоянного тока при пропитке на аналогичных установках: УПЯ-1, УПЯ-2, УПЯ-3.

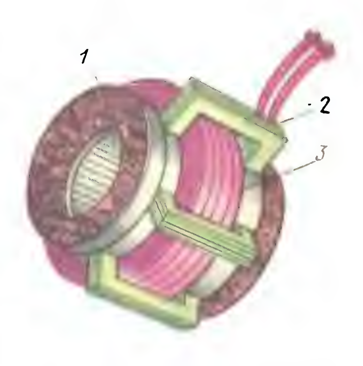


Рис. 180. Индуктор для нагрева стали статоров

§ 71. ПРОПИТКА В КОМПАУНДАХ

При пропитке в компаундах достигается значительно большая монолитность обмоток и их изоляции, чем при пропитке в лаках, а также повышаются их механическая и электрическая прочность. Компаунды подразделяются на термореактивные и термопластичные. Термореактивные компаунды изготовляют на основе эпоксидной смолы с добавлением отвердителя и ускорителя. При нагреве до определенной температуры отвердитель способствует запеканию компаунда в твердую массу, а ускоритель — ускорению процессов, происходящих при запекании компаундной массы. После охлаждения термореактивные компаунды остаются в твердом состоянии и не размягчаются при последующем нагревании. Термопластичные компаунды изготовляют на основе битумных лаков. При нагреве битумные компаунды становятся жидкими, при остывании затвердевают, но при последующем нагреве снова размягчаются и теряют механическую прочность.

Термореактивными эпоксидными компаундами пропитывают обмотки высоковольтных машин с непрерывной изоляцией из слюдинитовых лент, а также обмотки низковольтных машин, работающих в тяжелых условиях. Для пропитки в компаундах требуется сложное оборудование, состоящее из пропиточных котлов с подогревом и насосами для создания в них пониженного и повышенного давлений, насосов для перекачки компаунда и т. п. Схема установки для пропитки в эпоксидных компаундах приведена на рис. 181. Пропитывают либо сердечники с уложенной в пазы обмоткой, либо отдельные катушки крупных машин, например турбогенераторов или гидрогенераторов, до их укладки в пазы. Перед пропиткой изделия обязательно подвергают сушке в печи при температуре 100—120°С в течение 3—6 ч.

Пропитка осуществляется в вакуумном котле *1*. Статоры с обмоткой или катушки, уложенные в кассеты и закрепленные в них, чтобы при пропитке они не потеряли форму, вкатывают на

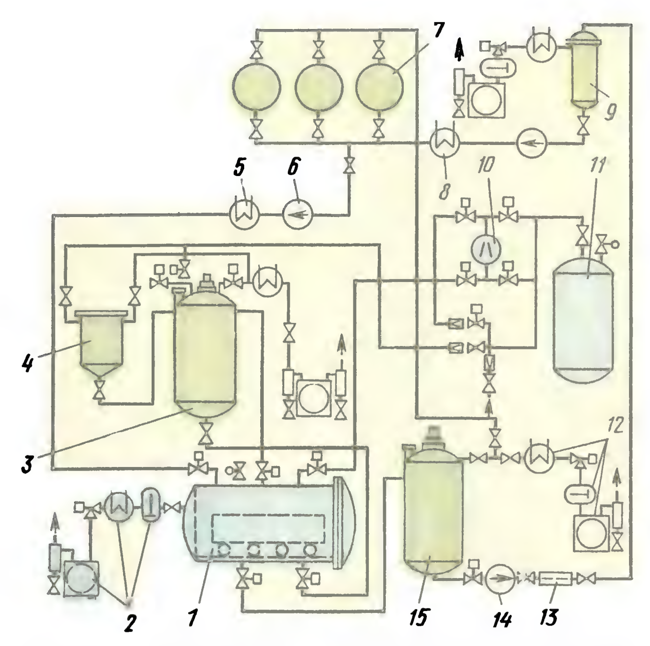


Рис. 181. Схема установки для пропитки в эпоксидных компаундах

тележке в горизонтально расположенный вакуумный котел. Температуру в котле повышают до 50—60°С и с помощью вакуумного агрегата *2* создают пониженное давление 0,05—0,1 кПа. При этом обмотка дегазируется и высушивается. Пропиточный компаунд перед употреблением также дегазируется в дегазационной колонке *9* при температуре 75°С и давлении 0,05 кПа в течение 1,5—2 ч, а после дегазации хранится в сборнике *7* при низком давлении в холодном состоянии. Для пропитки он перегоняется насосом *6* через нагреватель *5* в вакуумный котел. Во время пропитки для лучшего проникновения компаунда в глубь обмотки в котле создается давление до 800 кПа. Пропитка продолжается 2—3 ч при этом давлении. Давление создается путем накачки в вакуумный котел азота. После этого азот перекачивается компрессором *10* в сосуд *11*, а неизрасходованный компаунд под давлением перегоняется в смеситель *15*, в котором под вакуумом, создаваемым агрегатом *12*, смешивается со свежим компаундом, и насосом *14* через фильтр *13* перегоняется в дегазационную колонку *9*. После высушивания и дегазации компаунд перегоняется через холодильник *8* в сборник *7*. Резервуары *3* и *4* используют для других режимов пропитки.

По окончании пропитки и выгрузки из котла сердечники с уложенной обмоткой поступают в печь для запечки изоляции при температуре 150—180°С в течение 16—24 ч. Изоляцию отдельных катушек не запекают, а только подсушивают при 45—

50°C в течение 16 ч, так как после запечки она становится очень твердой, и катушку или стержень обмотки с запеченной изоляцией нельзя уложить в пазы машины. Подсушку проводят «до отлипа», т. е. до такого состояния, чтобы поверхность изоляции не прилипала к рукам, а внутренние слои ее оставались еще влажными и могли несколько деформироваться при укладке в пазы. Запечку изоляции катушек производят после их укладки и закрепления в пазовых и лобовых частях.

В термопластичных битумных компаундах пропитывают обмотки высоковольтных машин и низковольтных с непрерывной изоляцией из стекломикаленты, работающих в тяжелых условиях. Процесс компаундирования включает в основном те же операции, что и при пропитке эпоксидными компаундами, но более простой: сушка обмоток, выдержка под низким давлением, после чего подача компаундной массы, разогретой приблизительно до температуры находящихся в автоклаве катушек, т. е. до 155—165°С, создание повышенного давления, пропитка в течение нескольких часов, снятие давления и выгрузка из котла. Перед загрузкой в котел катушки по всему периметру покрывают защитным слоем киперной лентой впритык. Повышение давления в автоклаве после заполнения его битумом производят резко, с тем чтобы компаунд гидростатически опрессовал обмотку. После выемки из автоклава защитный слой ленты снимают вместе с натеками битума. Пропитывают в битумных компаундах только катушки или стержни обмотки, не уложенные в пазы машины.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Зачем нужно пропитывать обмотку?

2. В чем состоит отличие технологических процессов пропитки обмотки в лаках с растворителями и в лаках без растворителей?

3. Какие компаунды называют термореактивными и какие термопластичными?

4. Зачем нужна сушка обмотки перед пропиткой?

5. Опишите схему установки и метод пропитки с нижней подачей лака.

6. В чем заключается метод пропитки струйным способом?

7. Как работает пропиточно-сушильный агрегат для пропитки лаками с растворителями?

8. Какие методы сушки обмотки вы знаете? Зачем сушат обмотку после пропитки?

9. Как производится пропитка и сушка обмоток в установках типа АВБ?

ГЛАВА XV

КОНТРОЛЬ И ИСПЫТАНИЯ ОБМОТОК

§ 72. ВИДЫ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

В ГОСТ 183—74 испытания электрических машин разделяются на приемочные, типовые, приемо-сдаточные и периодические

Приемо-сдаточные испытания должна проходить каждая выпускаемая заводом электрическая машина. В их программу для машин всех типов входит измерение сопротивления обмоток и сопротивления их изоляции, испытание электрической прочности изоляции, а также испытания в режиме холостого хода. Кроме этого, синхронные и асинхронные машины испытывают при коротком замыкании, а машины постоянного тока и синхронные — при повышенной частоте вращения.

В машинах постоянного тока должна быть также проведена проверка коммутации при номинальной нагрузке и кратковременной перегрузке по току и проверка номинальных данных. В синхронных машинах с водородным охлаждением проверяют состояние уплотнений и определяют утечку водорода.

Программа *приемочных испытаний* значительно более обширна. Они проводятся на головных образцах электрических машин. Головными образцами называют первые машины, выпущенные заводом после окончательной отработки конструкции и технологии. Остальные машины должны быть выполнены заводом точно такими же, как головные образцы. Поэтому эти машины подвергают наиболее разносторонним испытаниям, включающим помимо всех испытаний, входящих в программу приемо-сдаточных, также ряд специальных, программа которых для разных типов машин установлена ГОСТами.

Типовые испытания проводят в тех случаях, когда в ранее выпускавшихся машинах произведено какое-либо изменение в конструкции, материалах или в технологии, которое может повлиять на характеристики и выходные данные машины (вибрацию, шум, кпд, коэффициент мощности и т. д.) Программа типовых испытаний составляется для каждого конкретного случая путем дополнения программы приемо-сдаточных испытаний теми или иными пунктами программы приемочных испытаний, установленных ГОСТами, в зависимости от возможных изменений.

Программы и сроки проведения *периодических испытаний* устанавливаются в стандартах или технических условиях на отдельные виды машин. Например, по ГОСТ 19523—81 на асинхронные короткозамкнутые двигатели серии 4А мощностью 0,06—400 кВт периодические испытания двигателей проводят не реже одного раза в год по программе приемочных испытаний.

§ 73. КОНТРОЛЬ И ИСПЫТАНИЕ ОБМОТОК

Электрические машины выходят из строя в большинстве случаев из-за повреждения обмоток. Поэтому контролю качества при изготовлении и укладке обмоток уделяется большое внимание. Операции по контролю качества изготовленной обмотки разделяются на контрольные и испытательные. К контрольным испытаниям относится проверка размеров намотанных катушек, правильности соединения схемы, маркировки выводных концов, отсутствия замыкания между пластинами коллектора, качества пайки различных соединений, измерения сопротивлений обмотки и изоляции и ряд других.

Для выполнения некоторых контрольных операций, например проверки правильности положения бандажей, отгиба лобовых частей, достаточно провести тщательный осмотр. Правильность размеров определяют шаблонами или макетами. Для измерения применяют различные электроизмерительные приборы. Качество пайки определяют как тщательным осмотром места соединений, так и с помощью измерительных приборов.

§ 74. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ОБМОТОК

Измерение сопротивления обмоток машин постоянного и переменного тока проводят на постоянном токе. Для измерения применяют измерительные мосты, электронные приборы — омметры или используют метод амперметра — вольтметра.

Измерительный мост представляет собой смонтированные в одном корпусе магазин калиброванных сопротивлений, источник питания — батарею на несколько вольт и стрелочный гальванометр. Выводные концы катушки или обмотки, сопротивление которой надо измерить, подключают к зажимам измерительного моста и поворотом ручек переключателей сопротивлений подбирают его сопротивление, равное измеряемому. Если это сопротивление отличается от сопротивления обмотки, то стрелка гальванометра при нажатии контрольной кнопки отклонится. По резкости и направлению отклонения стрелки судят о необходимости увеличить или уменьшить сопротивление моста и после необходимого переключения снова нажимают контрольную кнопку. Если стрелка неподвижна, то сопротивление моста равно измеряемому сопротивлению.

При работе с измерительным мостом следует быть осторожным, так как при большой разнице измеряемого сопротивления и сопротивления, подобранного в магазине моста, стрелка очень резко отклонится от среднего положения и, ударившись в ограничитель, погнется. Чтобы этого не случилось, на приборе размещают две контрольные кнопки. Около одной из них написано «Грубо», около другой — «Точно». При нажатии кнопки «Грубо» ток через гальванометр ограничивается и стрелка, несмотря на большую разницу сопротивлений, отклоняется

незначительно. Кнопку «Точно» можно нажимать только после того, как сопротивление моста подобрано настолько точно, что при нажатии кнопки «Грубо» стрелка почти не движется. После того нажимают кнопку «Точно» и, изменяя положения ручек самых малых сопротивлений, окончательно выравнивают сопротивление моста и сопротивление катушки.

Измерения с помощью моста требуют длительного времени, так как при каждом измерении приходится несколько раз переставлять ручки переключателей и нажимать кнопки гальванометра. Значительно удобнее измерять сопротивление с помощью омметров, которые сразу показывают измеряемое сопротивление. Особенно удобны цифровые приборы, в которых значение измеряемого сопротивления высвечивается на шкале.

Для измерения малых сопротивлений используют специальные омметры или метод вольтметра — амперметра. Через измеряемую обмотку или катушку пропускают постоянный ток и измеряют падение напряжения в обмотке. Сопротивление обмотки рассчитывают по формуле закона Ома: $R=U/I$.

Если напряжение U измерить непосредственно на зажимах обмотки, то этим методом можно определить сопротивление только самой обмотки независимо от длины соединительных проводов. Для получения точных результатов постоянный ток должен быть стабильным, без колебаний, поэтому для питания схемы используют аккумуляторные батареи, а не выпрямительные установки.

Сопротивление провода зависит от его температуры. Поэтому измерения всегда проводят на остывшей машине при температуре обмоток, равной температуре окружающего воздуха. В протоколах измерений обязательно указывают температуру обмоток. В технической документации указывается сопротивление обмоток при 20°С, которое обозначают R_{20}. Если измерения производились при другой температуре, то для сравнения результатов нужно привести полученное значение сопротивления к температуре 20°С. Зависимость сопротивления от температуры выражается следующей формулой: $R_{t_2}=R_{t_1}(1+\alpha\Delta t)$, где R_{t_1} — сопротивление обмотки при температуре t_1°; R_{t_2} — сопротивление обмотки при температуре t_2°, причем $t_1<t_2$; Δt — разность температур, °С; α — температурный коэффициент изменения сопротивления для многих чистых металлов (для меди и алюминия, равный 0,004 1/град).

Если по измерениям, проводимым при $t_1=15$°С, сопротивление обмотки $R_{15}=0{,}95$ Ом, то сопротивление, приведенное к 20°С, будет равно $R_{20}=R_{15}(1+\alpha\Delta t)=0{,}95[1+0{,}004(20-15)]=$ $=0{,}97$ Ом.

Если результаты измерений сопротивления обмоток расходятся более чем на 5—10% с указанными в технической документации, то это показывает, что обмотка выполнена неверно. В то же время совпадение результатов не дает оснований для заключения о правильности выполнения обмотки.

Рассмотрим такой пример. Двухслойная обмотка из круглого провода намотана пятью проводниками, имеет шесть катушечных групп в каждой фазе (шестиполюсная машина) и соединена в две параллельные ветви. При соединении и пайке схемы обмотчик некачественно выполнил скрутку проводов и плохо ее спаял, один из проводников остался не соединенным с остальными, и ток в этой катушечной группе проходит только по четырем проводам, а не по пяти, как в других группах. Сопротивление этой катушечной группы увеличилось обратно пропорционально суммарному поперечному сечению проводников, т. е. в $5/4 = 1{,}25$ раза. В то же время сопротивление всей фазы обмотки возросло только на 4%. Такое изменение сопротивления лежит в допустимых пределах и дефект при измерении сопротивлений фаз не может быть обнаружен. В то же время по дефектной катушечной группе протекает такой же ток, как и по остальным, но электрические потери в ее проводниках больше, чем в других группах, на 25% (пропорционально возросшему сопротивлению). Это неизбежно приведет к усилению нагрева проводников, ускорит старение их изоляции и выход машины из строя. Так же измерением сопротивления обмотки не может быть обнаружен, например, замкнутый виток обмотки из круглого провода. Отклонение результатов измерений сопротивлений по фазам обмотки не будет превышать 1—2%, в то же время наличие замкнутого витка приведет к выходу машины из строя из-за быстрого его нагрева и повреждения изоляции соседних витков и пазовой.

При ремонтных работах часто для обнаружения неисправностей обмотки измеряют и сравнивают между собой падение напряжения на нескольких одинаковых элементах обмотки при пропускании по ней тока. Так, например, если соединить все катушки обмотки возбуждения машины постоянного тока последовательно, пропустить по ним ток и вольтметром измерить падение напряжения на катушке каждого полюса, то результаты измерения должны быть одинаковые или очень близкие друг к другу. Заметные отклонения в показаниях вольтметра при подключении его к какой-либо из катушек покажут, что эта катушка имеет дефект. Например, при большем числе витков падение напряжения на ней будет больше, чем на других, а при уменьшенном числе витков или при замыкании нескольких витков — меньшим. Для проведения таких измерений источник тока соединяют с зажимами обмотки постоянными контактами, а к зажимам вольтметра подключают переносные щупы с острыми концами, легкое нажатие на которые создает хороший контакт с проводом обмотки. Сопротивление катушек при этом не рассчитывают.

Подобный же метод применяют для контроля правильности соединения секций якоря машины постоянного тока с коллектором. Для этого собирают схему, показанную на рис. 182. Схема подключается рубильником через предохранители к источнику

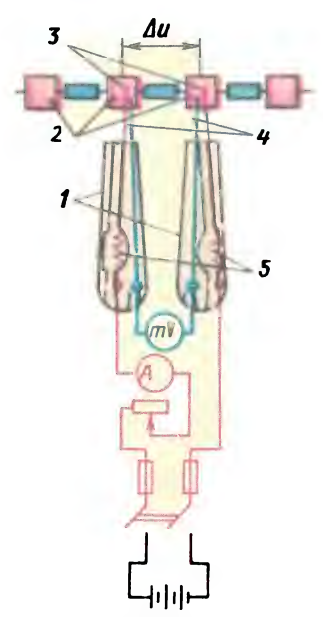


Рис. 182. Схема соединения щупов для контроля обмотки якоря

тока — аккумуляторной батарее. Измерения производят с помощью двойных щупов *1*, в изолированных рукоятках которых укреплено по две иглы. Иглы *4* — измерительные, короткие, соединены с милливольтметром. Иглы *3* — токовые, более длинные, подвижные. Они опираются на пружины *5* и до измерений выдвинуты из рукояток больше, чем измерительные. Подвижные иглы соединены с источником тока через амперметр и регулировочный резистор.

Измерения проводят следующим образом. Включают источник питания и устанавливают подвижные токовые иглы щупов на соседние пластины коллектора *2*. В цепи схемы появляется ток, замыкающийся через пластины коллекторов, выводные концы секций и обмотку якоря. Регулировочным резистором устанавливают определенный ток (обычно 1–2 А), чтобы не перегревались соединительные провода и токовые щупы. После того как ток установлен, его не меняют на протяжении всех измерений. Нажав на щупы, утапливают подвижные иглы и касаются измерительными иглами тех же коллекторных пластин, к которым присоединены подвижные иглы. По милливольтметру замечают и записывают напряжение между двумя соседними коллекторными пластинами. Потом переносят щупы на следующую пару пластин и после того, как амперметр покажет тот же ток в цепи, нажимают на них, чтобы коснуться пластин измерительными иглами. Таким образом последовательно обходят все пластины коллектора. Если все секции соединены с коллектором правильно и качество пайки их выводных концов с пластинами хорошее, то показания милливольтметра будут практически одинаковы, так как схемы обмоток якорей полностью симметричны. При ошибке в схеме или плохом контакте секции с коллектором, а также при замыкании витков в секции показания милливольтметра изменяются. Двойные щупы необходимы для того, чтобы случайно не вывести из строя милливольтметр, так как при плохом контакте между выводным концом секции и пластиной коллектора или при обрыве одной из секций напряжение между некоторыми коллекторными пластинами будет равно полному напряжению источника питания.

§ 75. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК

Изоляции обмоток — не идеальный изолятор. При соединении проводников с сетью через изоляцию на корпус проходит ток, который называют током утечки. Он очень мал, так как сопротивление изоляции достигает миллионов ом. Ток через изоляцию не превышает десятых долей миллиампера в машинах низкого напряжения и нескольких миллиампер в машинах высокого напряжения. Измерение сопротивления изоляции обмоток электрических машин входит в программу операций по проверке качества изоляции обмоток. Его измеряют с помощью мегаомметра.

Мегаомметр представляет собой переносной генератор постоянного тока, смонтированный вместе с измерительной системой. Стрелка на шкале мегаомметра показывает отношение напряжения на его зажимах к току, т. е. сопротивление измеряемой цепи.

Существуют мегаомметры на напряжения 500, 1000 и 2500 В. Генератор мегаомметра вращают вручную с помощью его рукоятки, соединенной через повышающий редуктор с валом генератора. Для проведения измерений выводной конец уложенной обмотки соединяют с одним зажимом прибора, а корпус машины — со вторым зажимом и начинают вращать рукоятку. Чтобы на зажимах мегаомметра генерировалось напряжение, указанное в его паспортных данных, частота вращения ручки должна быть не менее указанной на его щитке (обычно 120 об/мин). При меньшей частоте вращения напряжение будет меньше, а при большей центробежный регулятор прибора отсоединит редуктор от вала генератора и напряжение не поднимется выше номинального.

Во время проведения измерений стрелка прибора не сразу останавливается в каком-то определенном положении. Сначала она показывает меньшее сопротивление, постепенно показания увеличиваются и стрелка устанавливается на цифре, определяющей сопротивление изоляции обмотки относительно корпуса. Постепенный подход стрелки к установившемуся значению объясняется тем, что в первые моменты времени в изоляции возникают поляризационные токи, происходит зарядка своеобразного конденсатора, обкладками которого являются проводники обмотки и сталь магнитопровода, а диэлектриком — изоляции обмотки. Эти токи постепенно уменьшаются и после их прекращения остается так называемый сквозной ток утечки, который и характеризует сопротивление изоляции. Поэтому окончательные результаты измерения получают спустя минуту после начала вращения рукоятки мегаомметра. Записывают также показания через 15 с после начала измерений. По отношению этих показаний (через 15 и 60 с) можно судить о способности изоляции воспринимать заряд. При влажной изоляции эти

показания почти одинаковы, при сухой установившееся значение на 30—50% больше промежуточного. Отношение показаний R_{60}/R_{15} называют коэффициентом абсорбции, его значение характеризует степень увлажнения изоляции.

Все время, пока проводится измерение, т. е. не менее одной минуты, рукоятку мегаомметра необходимо вращать с частотой не менее 120 об/мин. Рукоятка вращается с большим моментом сопротивления, так как она соединена с редуктором, имеющим высокое передаточное отношение. Поэтому измерения можно проводить только вдвоем: один человек вращает рукоятку, другой отмечает показания прибора.

Для облегчения работы выпускают мегаомметры с электрическим приводом, в которых вместо рукоятки и редуктора установлен электрический двигатель с нужной частотой вращения. Такие мегаомметры удобней, но для них необходимо подводить напряжение к месту измерений, что вызывает дополнительные затруднения, особенно при измерении сопротивления изоляции обмоток в машинах, установленных на рабочих местах.

Необходимо отметить, что по данным измерений сопротивления изоляции обмоток нельзя окончательно судить о ее качестве, так как сопротивление сухой изоляции будет высоким даже при наличии в ней слабых в электрическом отношении мест — небольших трещин, вспучиваний и т. п. Допустимые нормы сопротивления изоляции указывают в технических условиях или ГОСТах на каждые типы машин.

Для измерения сопротивления изоляции обмоток, номинальное напряжение которых составляет 127—660 В, можно пользоваться только мегаомметром с напряжением 1000 В, так как при применении мегаомметра на напряжение 2500 В изоляция может быть пробита. Для обмоток с напряжением, меньшим 127 В, пользуются только мегаомметром на 500 В, для обмоток с номинальным напряжением 3000 В и более — мегаомметром на 2500 В, так как мегаомметры на более низкое напряжение будут показывать большое сопротивление изоляции. В связи с этим часто для измерений сопротивления изоляции нескольких обмоток одной и той же машины, имеющих разные номинальные напряжения, приходится использовать различные приборы. Так, например, сопротивление изоляции обмоток статора синхронного генератора с номинальным напряжением 6000 В измеряют мегаомметром с напряжением 2500 В, а сопротивление изоляции обмотки возбуждения той же машины — мегаомметром на 1000 или 500 В в зависимости от номинального напряжения обмотки возбуждения.

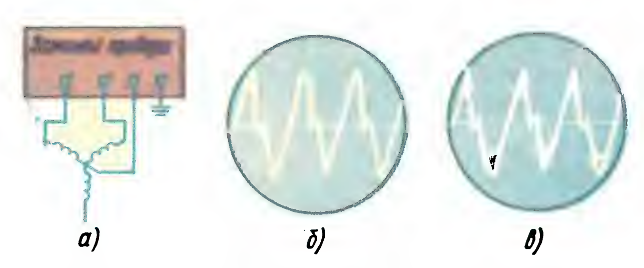
В процессе изготовления электрической машины измеряют не только сопротивление изоляции обмоток, но и всех изолированных деталей относительно корпуса: изоляций коллектора, контактных колец, щеточных болтов и др.

§ 76. КОНТРОЛЬ ОБМОТОК, УЛОЖЕННЫХ В ПАЗЫ

Контроль правильности намотки определенного числа витков в катушках, положения катушек в пазах и соединений этих катушек между собой проводится после изготовления и укладки обмотки. После того как обмотка уложена, запаяны и изолированы катушечные и межгрупповые соединения в статорах машин переменного тока, а в якорях машин постоянного тока выводы секций соединены с коллекторными пластинами, выполняют еще одну контрольную операцию, которая позволяет выявить возможные дефекты в изготовлении и укладке обмотки. Для этого применяют электронные приборы со специальными схемами.

Существует много разновидностей приборов для контроля обмотки (СМ, ЕЛ и др.). Рассмотрим принцип действия одного из них, нашедшего широкое применение на электромашиностроительных заводах — прибора ЕЛ. С помощью прибора ЕЛ не производят каких-либо измерений, а сравнивают полные сопротивления одинаковых элементов обмотки. Катушки уложенной в пазы обмотки обладают активным и индуктивным сопротивлениями. Активное сопротивление зависит от размеров и длины провода, а индуктивное — от числа и расположения витков в пазах.

Прибор ЕЛ состоит из нескольких блоков, смонтированных в одном корпусе: электронно-лучевой трубки, разверток луча по горизонтальной и вертикальной осям и импульсного генератора. Электронно-лучевая трубка обладает заметным послесвечением, т. е. способностью сохранять на экране некоторое время видимый след луча. Если к зажимам прибора подключить какой-либо элемент обмотки, например выводы катушки или фазы обмотки статора, и включить генератор импульсов, то каждый импульс отразится на экране движущимся световым пятном. Из-за послесвечения будет видна вся траектория хода луча — кривая, имеющая ряд изгибов. Амплитуда колебания луча и числа изгибов будут зависеть от электрических параметров подключенной к зажимам катушки или обмотки — ее активного и индуктивного сопротивлений, числа и расположения витков и др. По виду и характеру одной этой кривой еще нельзя сделать заключение о правильности выполненной обмотки, так как заранее рассчитать ее вид по данным обмотки практически невозможно. Но при любом изменении числа витков подключенной обмотки, расположения ее отдельных катушек, наличия замкнутых накоротко витков или любых других отклонений вид кривой изменится. Это используется в приборе: к трем зажимам прибора подключают не один, а сразу два элемента обмотки, которые должны быть одинаковы, например две фазы обмотки статора трехфазной машины. Причем к одному зажиму прибора (рис. 183, *а*) подсоединяют концы обеих фаз, а к двум другим — начала каждой из фаз. Генератор прибора подает импульсы поочередно то на начало одной фазы, то на начало другой.



а) б) в)

Рис. 183. Схема подключения трехфазной обмотки статора к прибору ЕЛ (*а*) и кривые на экране прибора (*б* — обмотка статора не имеет дефектов, *в* — в одной из фаз витковое замыкание)

Из-за послесвечения экрана на нем одновременно видны кривые от обоих импульсов. Если обе фазы полностью одинаковы, то эти кривые сливаются и на экране высвечивается только одна кривая (рис. 183, *б*). Если же фазы в чем-либо отличаются одна от другой, то на экране прибора видны две разные кривые, или одна, имеющая различные петли (рис. 183, *в*). Это и позволяет судить о наличии дефектов в одной из подключенных к прибору обмоток. Так же сравнивают одну из первых двух с третьей фазой обмотки.

Таким образом с помощью аппарата ЕЛ устанавливают идентичность или неидентичность двух сравниваемых элементов обмотки. Такое сопоставление достаточно для проверки правильности выполнения обмотки, так как вероятность повторения одной и той же ошибки, например замыкания витков, расположенных на одинаковом расстоянии от начал фаз обмотки, очень мала.

Аппарат ЕЛ используют также для проверки правильности намотки отдельных многовитковых катушек, например катушек параллельного возбуждения машин постоянного тока. В этом случае одну из катушек принимают за эталон и оставляют постоянно соединенной с прибором, а другие катушки подсоединяют поочередно. При раздвоении кривой на экране прибора подсоединенная катушка бракуется.

Для проверки правильности выполнения обмотки якоря машины постоянного тока зажимы аппарата соединяют с электродами, прижатыми к пластинам коллектора. Два электрода, соединенные с зажимами прибора, прикладывают к пластинам, расположенным под углом 90 или 120°, а электрод, соединенный с третьим зажимом, — к пластине, находящейся строго посередине между ними (рис. 184, *а*). Из-за симметрии обмотки между каждой парой зажимов оказываются включенными одинаковые участки обмотки и при отсутствии в них дефектов на экране прибора будет видна только одна кривая (рис. 184, *б*). Если на проверяемом участке обмотки имеются плохие контакты между выводными концами секций и пластинами, перепутаны выводные

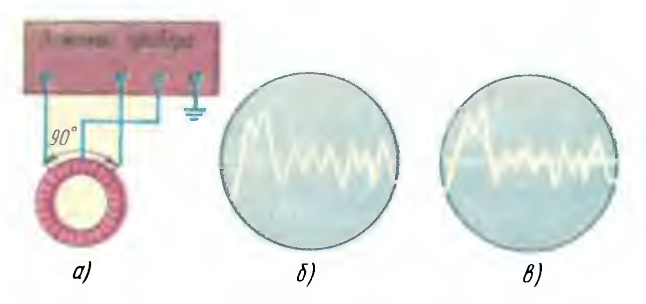


Рис. 184. Схема подключения обмотки якоря к прибору ЕЛ (*а*) и кривые на экране прибора (*б* — обмотка якоря не имеет дефектов, *в* — в обмотке якоря витковое замыкание)

концы секций или есть замыкания витков, то кривые раздвоятся (рис. 184, *в*).

Для проверки всей обмотки якоря электроды последовательно переставляют по пластинам коллектора, т. е. для проверки каждого коллектора производят три или четыре подключения.

§ 77. ПРОВЕРКА ПРАВИЛЬНОСТИ МАРКИРОВКИ ВЫВОДНЫХ КОНЦОВ ФАЗ ОБМОТКИ СТАТОРА

ГОСТом установлено, что при соединении начала первой фазы обмотки *С1* с фазой *А* сети, второй фазы обмотки *С2* с фазой *В* и третьей фазы обмотки *С3* с фазой *С* направление вращения электрической машины должно быть правым, т. е. машина должна вращаться по часовой стрелке, если смотреть со стороны выступающего (выводного) конца вала. Это правило не распространяется на реверсивные машины, на машины, имеющие два выступающих конца вала, и на машины, по своей конструкции предназначенные для левого вращения.

Для проверки правильности обозначений выводов обмотки все концы фаз (*С4, С5* и *С6*) соединяют между собой, а начала фаз *С1, С2* и *С3* соединяют соответственно с фазами *А, В* и *С* сети и на обмотку подают пониженное по сравнению с номинальным напряжение. Ток обмотки статора возбуждает вращающееся магнитное поле. Направление вращения поля можно определить, если поместить внутри статора в плоскости, перпендикулярной его оси, металлический легко вращающийся на своей оси диск. От взаимодействия токов, наведенных в диске вращающимся магнитным полем, и поля обмотки статора диск начнет вращаться. По направлению его вращения судят о направлении вращения поля. При правильной маркировке выводных концов фаз и соединении их с сетью диск должен вращаться по часовой стрелке, если смотреть от выводного конца вала.

В практике для определения направления вращения поля ис-

пользуют прибор, состоящий из легкого алюминиевого диска и рукоятки из изоляционного материала, на конце которой он свободно вращается.

§ 78. ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ИЗОЛЯЦИИ

Контрольные операции не позволяют судить об электрической прочности изоляции обмоток; она проверяется только при испытаниях высоким напряжением. Чтобы изоляция обмоток не вышла из строя во время работы машины, испытательное напряжение корпусной изоляции в несколько раз превышает номинальное.

Проверка электрической прочности изоляции обмотки готовой машины входит в программу приемо-сдаточных испытаний. Кроме того, изоляция испытывается в процессе изготовления и укладки катушек в пазы. Этот вид испытаний называют пооперационным, так как его проводят после определенных операций, различных для каждого типа обмоток.

Испытательные напряжения во время приемо-сдаточных испытаний установлены ГОСТ 183—74 в зависимости от типа машины, ее мощности и номинального напряжения. Изоляция обмоток от корпуса и между отдельными фазами должна выдерживать испытательное напряжение частоты 50 Гц в течение 1 мин. Для машин мощностью до 15 кВт включительно на номинальное напряжение до 660 В при массовом выпуске допускается проводить испытания повышенным на 20% по сравнению с установленным ГОСТом напряжением в течение 1 с. При этом обмотки машины включают сразу на полное испытательное напряжение.

Испытательное напряжение корпусной изоляции любой из обмоток всегда больше, чем двух- и трехкратное номинальное напряжение. Для некоторых обмоток испытательное напряжение устанавливается еще бóльшим. Так, для обмоток возбуждения отдельных типов синхронных машин ГОСТом предусмотрено десятикратное по сравнению с номинальным испытательное напряжение. Это делается для того, чтобы выявить малейшие дефекты в изоляции, так как при работе машины они могут увеличиться и привести к выходу ее из строя.

Если дефект изоляции обнаружен только во время приемосдаточных испытаний (пробой корпусной изоляции или изоляции между фазами обмотки), т. е. уже в готовой машине, то для его устранения требуются большие затраты рабочего времени и материалов. Машину с пробитой изоляцией возвращают в обмоточный цех для замены катушек обмотки с дефектной изоляцией. В статорах машин с обмоткой из круглого провода полностью заменяют всю обмотку, так как после пропитки проводники обмотки настолько прочно держатся в пазах, что вынуть и заменить одну из катушек без повреждения соседних практически

невозможно. Поэтому изоляцию обмоток испытывают также и в процессе изготовления. Операции, после которых проводят такие испытания, зависят от типа и конструкции обмоток. Изоляцию катушек из прямоугольного провода первый раз испытывают после компаундирования или после запечки гильз, потом после установки в пазы и заклиновки и еще раз после соединения, пайки и изолировки схемы.

Катушки всыпной обмотки и обмотки из подразделенных катушек до установки в пазы не изолируются, так же как и катушки якорей машин небольшой мощности. Поэтому изоляцию таких обмоток испытывают первый раз после укладки катушек в пазы и заклиновки, второй раз после соединения, пайки и изолирования схемы в машинах переменного тока или после соединения обмотки с коллектором в якорях машин постоянного тока и намотки бандажей.

Напряжения при пооперационных испытаниях ГОСТ не устанавливает. Они определяются ведомственными нормалями. Шкала испытательных напряжений строится так, чтобы каждое предыдущее напряжение было больше последующего на 10—15%, а последнее пооперационное испытание — большим, чем напряжение при приемо-сдаточных испытаниях, также на 10—15%. Такое построение шкалы испытательных напряжений позволяет отбраковать дефектную изоляцию уже на первых этапах изготовления обмотки и тем самым сократить затраты труда и времени на исправление дефектов.

Высокое напряжение во время испытаний представляет большую опасность для жизни человека, поэтому все испытания электрической прочности изоляции проводятся на специально оборудованных участках, расположенных на испытательных станциях. Испытательные участки ограждены металлической сеткой. Вход на их территорию разрешен только лицам, принимающим непосредственное участие в испытаниях, через дверь, оборудованную блокировочными контактами.

Принципиальная схема испытательной установки приведена на рис. 185. Испытания проводятся напряжением промышленной частоты 50 Гц. От сети напряжение через разъединитель и блокировочные контакты *БК* подводится к контактору *К1*. Блокировочные контакты соединены с концевыми выключателями на двери ограждения испытательного участка. Во время испытаний на нем не должен находиться никто из людей и двери должны быть закрыты. Если во время испытаний кто-либо случайно откроет двери, то сработает концевой выключатель, блокировочный контакт разомкнется и цепь отключится. От контактора напряжение через плавкие предохранители подается на регулятор напряжения *РН*. В качестве регулятора напряжения используют индукционный регулятор. На его первичную обмотку подают трехфазное напряжение, а со вторичной обмотки снимают однофазное. Выходные концы регулятора напряжения подключены через амперметр и защитный резистор к контактору *К2*,

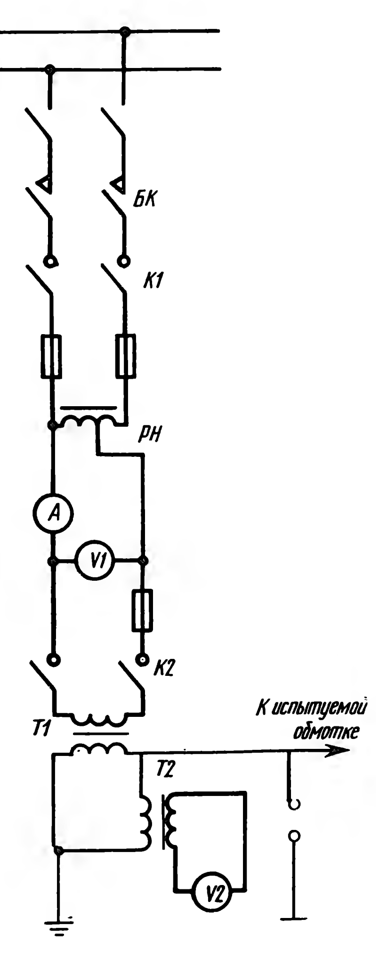


Рис. 185. Принципиальная схема испытательной установки

напряжение на зажимах которого контролируется вольтметром *V1*.

Контактор включается в цепь обмотки низкого напряжения испытательного трансформатора *Т1*. Один выводной конец обмотки высокого напряжения испытательного трансформатора заземлен, второй конец соединяется с испытуемой обмоткой. Параллельно с ней, на выводы обмотки высокого напряжения испытательного трансформатора подключены воздушный разрядник и измерительный трансформатор *Т2*. Расстояние между шарами воздушного разрядника устанавливается таким, чтобы при напряжении, превышающем испытательное, его воздушный промежуток пробивался и закорачивал цепь. При этом срабатывают предохранители и цепь разрывается. Испытательное напряжение измеряют с помощью измерительного трансформатора *Т2* и включенного на его обмотку низкого напряжения вольтметра *V2*. Определение напряжения на высокой стороне испытательного трансформатора по показаниям вольтметра *V1* с учетом коэффициента трансформации неточно, так как при нагрузке в испытательном трансформаторе наблюдается большое падение напряжения. Вместо измерительного трансформатора и вольтметра некоторые испытательные станции оборудованы киловольтметрами, которые позволяют непосредственно измерять напряжение, поданное на испытуемую обмотку.

Испытания начинают с напряжения, не превышающего $^1/_3$ испытательного, и постепенно повышают его до полного испытательного напряжения. Повышать напряжение следует плавно или ступенями, каждая из которых не должна превышать 5% его окончательного значения. Время подъема напряжения от половины до окончательного значения не должно быть менее 10 с. Полное испытательное напряжение выдерживают в течение 1 мин, после чего плавно снижают до $^1/_3$ его значения и отключают контакторы *К1* и *К2* и разъединитель схемы.

Несмотря на то что большая часть схемы испытательной установки находится под низким напряжением (провода высокого напряжения показаны на рис. 185 красными линиями) и все измерительные приборы расположены на пультах управлений за пределами участков схемы с высоким напряжением, все испытания разрешается проводить только в резиновых перчатках, стоя на резиновых ковриках.

Испытательные установки помимо плакатов, предупреждающих о недопустимости входа в огражденные участки, оборудованы также световой сигнализацией. Красная лампа над дверью включается во время проведения испытаний.

Чтобы испытать электрическую прочность изоляции отдельных катушек высоковольтной обмотки до укладки их в пазы, пазовые части катушек плотно обертывают лентой из металлической (алюминиевой) фольги, наматывая ее втретьнахлеста на длину, равную длине стали машины. Несколько испытуемых катушек одновременно устанавливают на столе испытательного участка на поперечные брусья так, чтобы лобовые части катушек оказались приподнятыми и не касались стола. Под один из брусьев укладывают заземленный металлический электрод, соприкасающийся с металлической фольгой на пазовых частях катушек. Выводные концы катушек соединяют медной проволокой, подключают ее к зажиму высокого напряжения испытательного трансформатора и производят испытание. Если какая-либо из катушек оказалась некачественная, то ее изоляция пробивается.

Амперметр в схеме показывает сильное увеличение тока, а вольтметры — падение напряжения.

После отключения схемы место пробоя изоляции легко определить, так как фольга над пробитым участком прогорает, а вокруг него видны цвета побежалости из-за сильного нагрева. Небольшое прогоревшее отверстие заметно также и на изоляции катушки.

Для испытания изоляции катушек после укладки их в пазы и заклиновки до соединения схемы выводные концы всех катушек соединяют тонкой проволокой и подключают к обмотке испытательного трансформатора, а корпус машины заземляют.

Для испытания изоляции после соединения схемы, так же как и во время приемо-сдаточных испытаний, испытательное напряжение подают только на одну из фаз обмотки, а заземляют и корпус машины, и другие фазы. Таким образом одновременно испытывается как изоляция обмотки относительно корпуса, так и между фазами.

Порядок проведения испытаний, т. е. постепенное поднятие напряжения, выдержка в течение одной минуты и плавное уменьшение его остаются одинаковыми для всех видов испытаний электрической прочности изоляции.

§ 79. ИСПЫТАНИЕ МЕЖДУВИТКОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Витковую изоляцию испытывают лишь в машинах, обмотка которых состоит из многовитковых (двухвитковых и более) катушек. Испытательное напряжение нельзя приложить к каждому витку раздельно, так как витки соединены в катушках последовательно и не имеют отдельных выводов. Поэтому для испытания междувитковой изоляции обмоток приходится применять другие способы.

Напряжение между витками обмотки равно напряжению, приложенному к фазе, деленному на число последовательно соединенных витков фазы. Чтобы повысить это напряжение, надо увеличить напряжение на выводах обмотки. Согласно ГОСТ 183—74, испытание междувитковой изоляции производят при повышении напряжения на зажимах машины на 30% по сравнению с номинальным. Такое напряжение изоляция должна выдержать в течение 3 мин. Однако это испытательное напряжение слишком мало, чтобы обнаружить возможные скрытые дефекты изоляции между витками. Повысить его простым увеличением напряжения на зажимах обмотки нельзя, так как при этом возрастает ток и изоляция придет в негодность из-за чрезмерного нагрева проводников. Чтобы избежать увеличения тока в обмотке и в то же время повысить испытательное напряжение между ее витками, увеличивают его частоту.

Ток в обмотке определяется напряжением и ее полным сопротивлением, т. е. активным и индуктивным. Активное сопротивление почти не зависит от частоты тока, а индуктивное возрастает пропорционально увеличению его частоты. На установках для испытания междувитковой изоляции, уложенной в пазы обмотки, на ее зажимы подают испытательное напряжение частотой в несколько килогерц. Ток в обмотке из-за большого индуктивного сопротивления очень небольшой, а напряжение может быть поднято до необходимого уровня, обеспечивающего надежное испытание междувитковой изоляции.

Прочность витковой изоляции обмоток якорей, катушек возбуждения, многовитковых обмоток статоров и фазных роторов асинхронных машин может быть испытана также наведенной в них эдс. Для проверки изоляции многовитковых катушек возбуждения используют простое приспособление (рис. 186) — магнитопровод *1* с откидным ярмом *3*. На один стержень магнитопровода надевают испытуемую катушку *2*. На другом стержне размещена катушка возбуждения прибора *4*. При включении в сеть катушки возбуждения в магнитопроводе возникает магнитный поток, который инду-

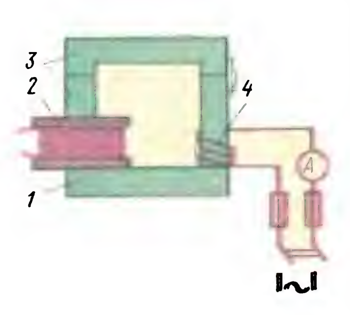


Рис. 186. Установка для проверки междувитковой изоляции многовитковых катушек

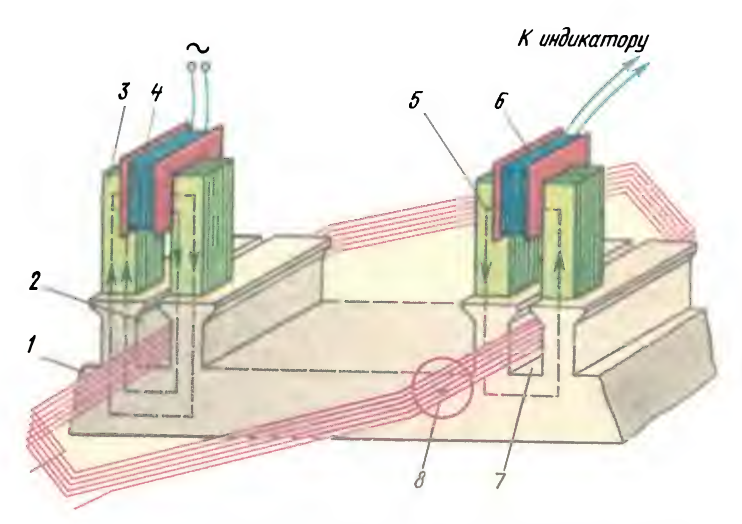


Рис. 187. Проверка электрической прочности витковой изоляции катушки, уложенной в пазы статора, методом наведения эдс

цирует эдс в витках испытуемой катушки. Причем напряжение между ее витками равно напряжению, приходящемуся на один виток катушки возбуждения. При пробое витковой изоляции в испытуемой катушке образуется замкнутый виток, в котором под влиянием индуцированной эдс возникает большой ток. Ток в цепи прибора также возрастает.

По увеличению показаний амперметра судят о неисправности катушки.

Таким же по принципу действия прибором может быть обнаружено замыкание между витками катушек, уложенных в пазы статора или ротора. Для этого П-образный индуктор *3* (рис. 187) с катушкой возбуждения *4* устанавливают над пазом *2*, в котором находится одна из сторон испытуемой катушки *1*. Датчик прибора — П-образный магнитопровод *5* с катушкой *6* помещают над пазом *7*, в котором располагается вторая сторона катушки. Магнитный поток, создаваемый индуктором, наводит эдс в катушке. Если между ее витками есть замыкание, например, в точке *8*, то в замкнутом контуре возникает ток, создающий поток в магнитопроводе датчика, который, в свою очередь, наводит эдс в обмотке датчика. Индикатор, соединенный с обмоткой, отметит наведенную эдс и тем самым зафиксирует наличие виткового замыкания в катушке обмотки.

§ 80. АВТОМАТИЗАЦИЯ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Проведение полной программы приемо-сдаточных и пооперационных испытаний требует значительных затрат рабочего времени, которое расходуется в основном на различные соедине-

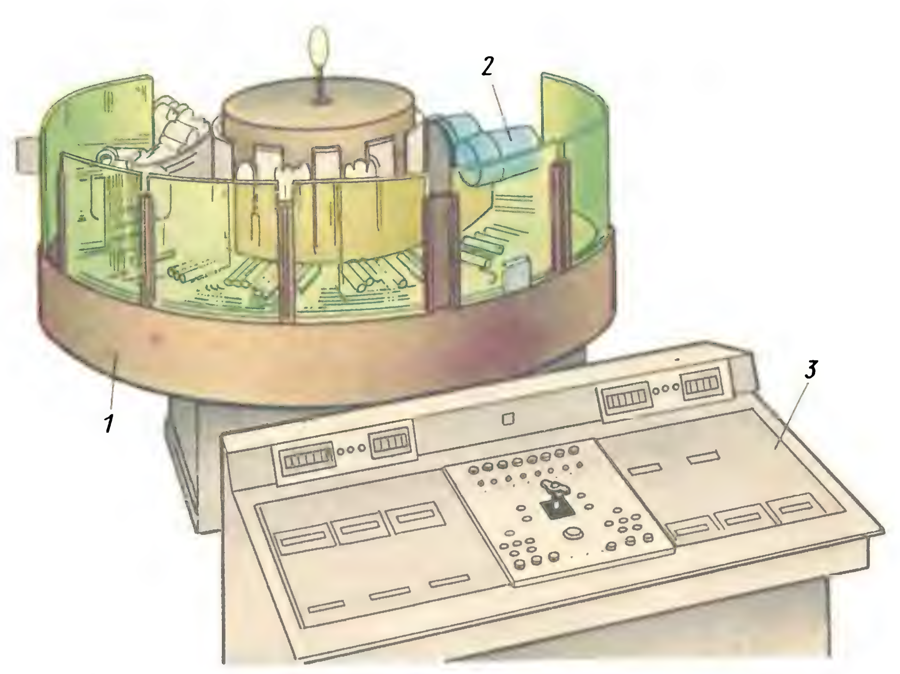


Рис. 188. Установка АКО-19 для испытаний асинхронных двигателей

ния и на регистрацию данных измерений. В то же время испытательные и измерительные схемы и приборы в них при массовом выпуске однотипных электрических машин должны быть одни и те же, испытательные напряжения одинаковы, а показания приборов могут лишь незначительно отличаться. Это дает возможность автоматизировать процесс испытаний электродвигателей массовых серий.

Для пооперационных испытаний асинхронных двигателей малой мощности используют автоматическую установку АКО-19. На ней производят испытания в технологическом потоке изготовления статоров после укладки обмотки и бандажирования лобовых частей (перед пропиткой).

Установка (рис. 188) состоит из испытательного стола *1* с поворотной планшайбой и стенда с аппаратурой и пультом управления *3*. Оператор устанавливает испытуемые статоры *2* на планшайбу и соединяет выводные концы фаз их обмоток со схемой. Одновременно на столе размещается восемь статоров. Планшайба периодически поворачивается на $^1/_8$ окружности, таким образом каждый статор последовательно занимает восемь различных положений, на каждом из которых производится какое-либо испытание или измерение. Контрольные операции проводятся автоматически. Испытывается электрическая прочность изоляции обмотки относительно корпуса, электрическая прочность межфазовой и междувитковой изоляции, контролируется правильность маркировки выводных концов обмотки и из-

меряется сопротивление каждой ее фазы. Установку обслуживает один оператор. За один час на ней могут пройти испытания до 80 статоров.

Аналогично работают автоматические испытательные станции типа АИМ, предназначенные для проведения приемо-сдаточных испытаний асинхронных двигателей серии 4А (установка АИМ-18 — для испытаний двигателей мощностью 2,2—7,5 кВт, АИМ-18А — для двигателей мощностью 4—11 кВт).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие виды испытаний электрических машин установлены ГОСТ 183—74? Когда их проводят?

2. Какими способами можно измерить сопротивление обмоток и как оно зависит от температуры?

3. Почему для проверки обмотки якоря применяют двойные щупы (см. рис. 182)? Можно ли проводить эти измерения с помощью обычных одинарных щупов?

4. Какими приборами измеряют сопротивление изоляции?

5. Изменится ли коэффициент абсорбции после сушки обмотки?

6. Какие испытания называются пооперационными и когда их проводят?

7. По рис. 185 поясните назначение элементов принципиальной схемы испытательной установки.

8. Как производят испытания высоким напряжением изоляции обмоток, уложенных в пазы машины?

9. Как испытывают электрическую прочность междувитковой изоляции обмоток?

ГЛАВА XVI

РЕМОНТ ОБМОТОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

§ 81. ВИДЫ И СИСТЕМА ПЛАНОВО-ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНЫХ РЕМОНТОВ

Электрические машины рассчитываются на длительный срок эксплуатации. Однако не все двигатели и генераторы выдерживают этот срок, некоторые из них выходят из строя значительно раньше. Нарушение работоспособности электрических машин называют *отказом*. Все отказы в зависимости от причин, которые их вызвали, разделяют на электрические и механические. К электрическим относят отказы, вызванные ухудшением электрических свойств или повреждением изоляции, ухудшением состояния контактов в соединениях внутри машины, повышенным искрением на коллекторе, а также повреждением изоляции меж-

ду листами шихтованного магнитопровода. Среди отказов, вызванных механическими причинами, наиболее часто встречаются отказы, происшедшие в связи с выходом из строя подшипников, чрезмерным износом щеток и коллектора или контактных колец, деформаций вала, ослаблением запрессовки листов магнитопровода, а также из-за засорения внутренних вентиляционных каналов или повреждения вентиляторов, в связи с чем температура обмотки превышает установленные для нее пределы.

Чрезмерное повышение температуры обмотки может быть также вызвано неправильной эксплуатацией двигателей с частыми и длительными перегрузками или в режимах, не соответствующих паспортным, например, при эксплуатации двигателя, рассчитанного на повторно-кратковременную работу, в длительном режиме с номинальной нагрузкой.

Очень часто отказы, вызванные механическими причинами, переходят в электрические, например повышение нагрева обмотки из-за плохого ее охлаждения приводит к быстрому старению изоляции, уменьшению ее электрической прочности и в конце концов к замыканию обмотки на корпус или между фазами.

Большая часть отказов электрических машин может быть предотвращена правильной организацией системы планово-предупредительного ремонта (ППР). Эта система заключается в проведении планомерных периодических осмотров и ремонтов установленного электрооборудования. Вывод в ремонт электрической машины в заранее установленные сроки всегда сокращает вынужденные простои оборудования, так как сроки ее ремонта согласовываются со сроками ремонта или переналадки оборудования, работа которого зависит от ремонтируемой электрической машины.

По объему выполняемых работ различают текущий и капитальный ремонты электрических машин.

Крупные электрические машины во время текущих ремонтов обычно разбирают частично или полностью. Осматривают лобовые части обмоток, проверяют состояние их изоляции и креплений; состояние бандажей якорей машин постоянного тока и фазных роторов асинхронных двигателей, плотность запрессовки стали шихтованных магнитопроводов, прочность посадки пазовых клиньев обмотки. Мелкие неисправности, обнаруженные во время осмотра, исправляют. Если обнаружен дефект, который не может быть исправлен за время, отведенное на текущий ремонт, и в то же время эта неисправность позволяет эксплуатировать машину еще какое-то время без угрозы аварийной остановки, назначается срок проведения ремонта, согласованный с планом ремонтных работ предприятия.

Капитальный ремонт электрических машин в большинстве случаев связан с полной заменой обмоток, ремонтом коллектора, контактных колец, подшипников, станины и других деталей. Во время капитального ремонта при разборке машины оценивается состояние и пригодность к дальнейшей работе каждой ее детали.

Ремонт проводится комплексно, с тем чтобы в капитально отремонтированной машине не оставалось слабых мест, так как это может привести к необходимости повторных ремонтов.

Капитальный и текущий ремонты чередуются: после начала эксплуатации новой машины до ее первого капитального ремонта или между двумя капитальными ремонтами проводят один или несколько текущих. Время, прошедшее между выпуском машины с завода-изготовителя и первым капитальным ремонтом или между двумя капитальными ремонтами, называют ремонтным циклом, а время между двумя очередными ремонтами — между двумя текущими или между текущим и капитальным — межремонтным периодом. Количество текущих ремонтов в одном ремонтном цикле может быть различно. Чем чаще они проводятся, т. е. чем меньше межремонтный период, тем больше возможности своевременно выявить и исправить какой-либо дефект, пока он еще не привел к серьезной неисправности машины. Это позволяет увеличить ремонтный цикл и отодвинуть сроки проведения капитального ремонта, стоимость которого много больше, чем текущих.

Текущий ремонт электрических машин, как правило, проводят на месте их установки, капитальный ремонт машин малой и средней мощности — в электроремонтных цехах, организованных на крупных предприятиях, или на специализированных электроремонтных заводах. Капитальный ремонт крупных электрических машин мощностью больше нескольких сотен или тысяч киловатт из-за сложности и большой стоимости транспортировки проводят на месте их установки. Для этой цели в цехе завода, где установлен ремонтируемый двигатель, или в машинном зале электростанции, где размещается генератор, организуют ремонтные площадки, оснащенные всем необходимым для ремонта оборудованием.

Ремонт различных частей электрической машины имеет свои особенности и выполняется рабочими разных профессий. Обмотчики в большинстве случаев выполняют ремонт только обмоток, хотя иногда им приходится выполнять и слесарные работы, связанные, например, с ремонтом коллектора, контактных колец, активной стали.

Ремонт обмоток по технологии и объему работ резко разделяется на частичный и капитальный. При частичном ремонте устраняются мелкие неисправности обмотки. При капитальном ремонте полностью заменяется вся обмотка статора или ротора или обе обмотки.

§ 82. ЧАСТИЧНЫЙ РЕМОНТ ОБМОТОК

В статорах машин переменного тока производят частичный ремонт только обмоток из прямоугольного провода. Частичный ремонт обмоток из круглого провода практически невыполним, так как все их проводники после пропитки лаком прочно склеены

между собой и в пазовой и в лобовых частях. Отделить один проводник для того, чтобы подызолировать поврежденное место или заменить междуфазную изоляцию, невозможно без повреждения изоляции соседних проводников и катушек.

Частичный ремонт обмоток из прямоугольного провода выполняют в тех случаях, когда повреждение изоляции имеет чисто местный, случайный характер, а не вызвано общим старением всей изоляции машины.

Повреждения изоляции обмоток вызывают различные виды замыканий: обмотки на корпус, между фазами и витков между собой (витковое замыкание). Замыкание обмотки на корпус машины большей частью происходит из-за пробоя изоляции в пазовой части катушек.

Определить место замыкания можно несколькими способами, однако, прежде чем воспользоваться каким-либо способом, нужно внимательно осмотреть обмотку статора. Замыкание обмотки на корпус наиболее часто происходит в местах выхода пазовой части катушек из пазов. Его можно легко обнаружить по следам подгара изоляционного материала. Такие же следы подгара и копоти часто бывают видны на краях пазовых клиньев, если пробой изоляции произошел в середине паза. Если при осмотре обмотки место повреждения не обнаружено, то можно воспользоваться наиболее быстрым, но в то же время наиболее опасным способом — прожиганием места замыкания. Корпус статора заземляют, а на вводы обмотки подают напряжение, которое постепенно повышают до тех пор, пока над поврежденным участком не покажется дымок. Опасность этого метода заключается в том, что при длительной выдержке под напряжением место замыкания сильно разогревается и может быть повреждена изоляция соседних витков и даже катушек обмотки.

Этот метод часто не дает результата, если проводники в месте пробоя оплавились и образовали хороший электрический контакт между обмоткой и корпусом, который при подключении напряжения на обмотку нагревается не так сильно и его место нельзя найти по дыму.

Обнаружить место замыкания на корпус или между фазами можно также методом последовательного подразделения обмотки на ряд частей. Вначале с помощью мегаомметра или при устойчивом «металлическом» замыкании с помощью контрольной лампы определяют фазу обмотки с поврежденной изоляцией. После этого начало и конец фазы соединяют с источником постоянного тока (рис. 189) и с помощью милливольтметра, один вывод которого соединен с корпусом машины и с другими фазами, а второй — с игольчатым щупом, отыс-

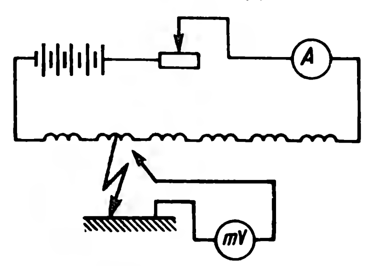


Рис. 189. Схема для определения места пробоя изоляции обмотки на корпус

кивают катушку с поврежденной изоляцией. Для этого игольчатым щупом прибора, прокалывая изоляцию в местах соединения катушек, измеряют напряжение между корпусом и проводниками всех катушек поочередно. На выводах поврежденной катушки напряжение будет самое маленькое из всех измеренных или равно нулю. На выводах, следующих по ходу измерений катушек, напряжение изменит полярность и будет постепенно возрастать. Найденная таким образом катушка отсоединяется от схемы. С помощью мегаомметра или контрольной лампы проверяют правильность определения места замыкания.

Найти место замыкания между витками обмотки труднее, чем место замыкания на корпус или между фазами. Наиболее удобно фаза или катушка с поврежденной витковой изоляцией определяется с помощью приборов и методов, описанных в § 79.

После того как характер и место повреждения изоляции установлены, решают вопрос об объеме и способах ремонта. Повреждение корпусной изоляции в лобовых частях обмотки иногда может быть устранено без выемки катушек из пазов. В этом случае поврежденную лобовую часть несколько приподнимают, изоляцию в месте пробоя срезают «на конус» и вокруг всей катушки наматывают несколько слоев (число слоев в зависимости от напряжения машины и толщины изоляции лобовой части) микаленты или стекломикаленты вполнахлеста с заходом верхних слоев на неповрежденную часть изоляции. Лента должна быть промазана изоляционным лаком и хорошо утянута, чтобы по возможности избежать возможных включений воздуха между слоями нанесенной изоляции. Если пробой произошел между фазами обмотки, то таким же образом ремонтируют лобовую часть второй катушки, после чего между ними устанавливают дополнительную изоляционную прокладку. При срезании поврежденного участка изоляции нужно очень внимательно осмотреть очищенное место, так как часто при пробое корпусной изоляции повреждается также витковая и всегда проводниковая.

Если повреждена изоляция на пазовой части катушки, то местный ремонт изоляции проводить нельзя, так как электрическая прочность отремонтированного участка при той же толщине изоляции всегда меньше, чем остальной изоляции катушки. В этом случае при частичном ремонте обмотки катушку заменяют резервной или специально изготовленной новой катушкой обмотки. Если поврежденная катушка вынута аккуратно, можно, сняв пробитую корпусную изоляцию, заменить ее новой. Однако конструкция новой изоляции должна быть такой же, как и в других катушках, что не всегда можно выполнить в условиях ремонта.

Замена поврежденной катушки обмотки статора требует высокого мастерства обмотчиков. Для того чтобы вынуть одну катушку двухслойной обмотки из пазов, приходится поднимать несколько катушек, так как лобовую часть катушки, лежащую в нижнем слое, можно освободить только в том случае, если вынуть из

пазов и отогнуть к центру статора по одной стороне у всех катушек, находящихся в пазах, на расстоянии шага обмотки.

Место замыкания на корпус обмоток якоря и фазных роторов асинхронных двигателей прежде всего отыскивают, тщательно их осматривая. Следует учитывать, что наиболее вероятные места пробоя корпусной изоляции — это участки выхода обмотки из пазов. Во время намотки бандажей лобовые части осаживаются к оси ротора. Если формовка лобовых частей произведена недостаточно точно или небрежно уложена подбандажная изоляция, обмотка в местах выхода из пазов повреждается о кромку дна пазов. Корпусная изоляция в этих местах продавливается, что может послужить причиной выхода ее из строя.

Если осмотром найти место пробоя не удается, то используют те же методы, что и для обнаружения замыкания на корпус или между фазами статорных обмоток. Если место пробоя обнаружено в пазовых или лобовых частях обмотки, снимают бандажи и расклинивают нужные пазы ротора и осмотром или с помощью приборов окончательно определяют поврежденную катушку. Снимать бандажи с лобовых частей до приблизительного определения места повреждения не рекомендуется, так как освобожденные от давления бандажей лобовые части обмотки приподнимаются и замыкание обмотки может прекратиться. В этом случае найти поврежденное место много труднее.

Чтобы вынуть поврежденную катушку из пазов якоря, необходимо отпаять выводные концы секций всех катушек, расположенных в пазах по шагу обмотки, и вынуть их верхние стороны из пазов, освободив катушку с поврежденной изоляцией. После замены изоляции катушку вновь устанавливают в пазы, все соседние катушки возвращают на свои места, пазы заклинивают, наматывают бандажи и выводные концы секции припаивают к пластинам коллектора.

При любом повреждении изоляции стержней обмотки фазного ротора их вынимают из пазов и переизолируют. Чтобы вынуть стержень из паза, приходится разгибать одну его лобовую часть. Это можно сделать только, если распаять и отогнуть лобовые части нескольких соседних стержней. Если стержень с поврежденной изоляцией располагается в нижнем слое паза, то предварительно необходимо вынуть несколько стержней верхнего слоя, чтобы иметь доступ к лобовым частям стержней, расположенных под ними. С вынутого стержня снимают всю старую изоляцию. Медь очищают и отжигают, чтобы снять наклеп, образовавшийся при нескольких изгибах лобовой части стержня. Новая изоляция должна иметь ту же конструкцию, что и изоляция других стержней. Перед установкой переизолированного стержня в паз необходимо тщательно проверить целостность изоляции соседних стержней и пазовых коробок в пазах, из которых вынимались стержни. После установки стержня, изгиба лобовых частей и запайки контактов укладывают подбандажную изоляцию и наматывают бандаж.

Как бы тщательно ни был проведен частичный ремонт обмоток, связанный с заменой отдельных катушек обмоток статоров, якорей или стержней роторов асинхронных двигателей, всегда уменьшается запас прочности всей обмотки, так как обязательно происходит деформация соседних элементов обмотки (катушек или стержней).

В долго работающих электрических машинах изоляция обмоток, как правило, сухая и теряет свою первоначальную гибкость и эластичность, поэтому любое неосторожное движение во время отгиба лобовых частей, выемки сторон катушек из пазов и других операций, необходимых при замене катушки или стержня, приводит к ослаблению электрической прочности соседних элементов обмотки. В практике известно много случаев, когда после замены одной катушки обмотки во время испытаний электрической прочности изоляции пробивается корпусная изоляция соседних катушек и т. д. Поэтому частичный ремонт обмоток, особенно двухслойных, производят лишь для того, чтобы избежать необходимости немедленного вывода машины в капитальный ремонт в неудобное для производства время.

§ 83. РЕМОНТ ОБМОТОК СТАТОРОВ

Ремонт обмоток из круглого провода. На все двигатели отечественного производства на ремонтных предприятиях должна быть техническая документация, содержащая полные обмоточные данные и чертежи обмоток. По этим данным заранее рассчитывают размеры шаблонов для намотки заготовок катушек. Если техническая документация отсутствует, все обмоточные данные и размеры обмотки определяют при разборке машины.

После того как обмоточные данные установлены, из пазов статора удаляют старую обмотку.

Обмотка из круглого провода укладывается в пазы через шлицы пазов. Если попытаться вынуть проводники старой обмотки также через шлицы пазов, то неизбежно повредятся тонкие усики зубцов, так как сцементированные лаком проводники будут отгибать их вверх.

Чтобы обмотку из круглого провода вынуть из пазов, ее лобовые части вначале обрезают с одной стороны статора вровень с торцовой поверхностью сердечника. В небольших машинах эту операцию делают на токарных станках, в машинах больших размеров — с помощью пневматического зубила. Более производительно использовать специальные установки, оборудованные устройством для закрепления статора и фрезой для обрезки лобовых частей обмоток. После этого статор очищают, продувают сжатым воздухом и для ослабления цементирующего действия пропиточных лаков помещают в ванну с раствором кальцинированной соды, подогретым до 80—90°С. Хорошие результаты дает также метод «выжигания» изоляции в печи при 350—360°С. За несколько часов при такой температуре пазовые

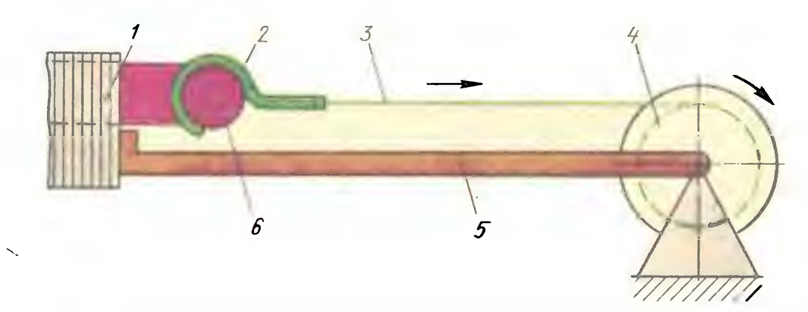


Рис. 190. Вытягивание всыпной обмотки из пазов с помощью лебедки

клинья и изоляция обмотки почти полностью утрачивают механическую прочность и обмотка легко вынимается из пазов.

На специализированных электроремонтных заводах применяют также метод индукционного нагрева статоров перед выемкой старой обмотки. Статор с отрезанными с одной стороны лобовыми частями обмотки из круглого провода помещают в индуктор. Магнитый поток, создаваемый индуктором, замыкается по сердечнику статора и нагревает его. Теплота от сердечника передается обмотке (в первую очередь крайним, прилегающим к стенкам пазов, слоям изоляции и проводам). После нагрева обмотка легко удаляется из пазов. Этот способ используют при ремонте статоров с относительно небольшими диаметрами сердечников.

Для удаления обмотки применяют электрические или ручные лебедки с крючьями (рис. 190). Лебедка *4* имеет упор *5*, который устанавливается к торцу статора и препятствует отгибу крайних листов *1* при вытягивании обмотки из пазов. Крюк *2* захватывает лобовую часть *6* одной или нескольких катушечных групп обмотки и с помощью троса *3* вытягивает обмотку. Если предварительно не уменьшить механическую прочность изоляции, то при вытягивании могут либо оборваться проводники, либо деформироваться зубцы статора.

В прочищенных и промытых статорах осматривают и проверяют крепление стали и устраняют мелкие дефекты, например выправляют погнутые кромки пазов, удаляют оплавления листов стали, образовавшиеся в местах замыкания обмотки на корпус, и т. п. Выправленные и очищенные статоры поступают на обмоточный участок для укладки обмотки.

Технология заготовки изоляции, изолировки пазов и укладки всыпных обмоток во время капитального ремонта такая же, как при изготовлении новых машин. Отличительной особенностью этих работ является значительно меньшая, чем на электромашиностроительных заводах, механизация обмоточных работ. Это объясняется, в первую очередь, разнообразием типов и конструкций машин, поступающих в капитальный ремонт. Кроме того, значительная их часть — это машины старых серий, в пазы которых обмотка не может быть уложена механизированным спосо-

бом. Поэтому и изолировку пазов и укладку как двухслойной, так и однослойной обмотки производят в основном вручную.

Ремонт обмоток из прямоугольного провода. Обмотку из прямоугольного провода демонтируют также после предварительного ослабления механической прочности изоляции катушки. Катушки вынимают из пазов поочередно в последовательности, обратной их укладке. Если несмотря на ослабление изоляции катушки с трудом выходят из пазов, их приподнимают длинными клиньями, которые забивают с торцов статора под пазовые части катушек. Сильно деформировать катушки при выемке из пазов нельзя, так как перекрученные проводники обмотки могут застрять в пазу и работа по демонтажу обмотки усложнится.

После того как вся обмотка вынута, статор очищают от остатков изоляции, продувают сжатым воздухом и тщательно осматривают. Устраняют все замеченные неисправности активной стали. Тщательно очищенный и осмотренный статор подается на обмоточный участок.

Обмотка из прямоугольного провода, состоящая из подразделенных катушек, как правило, изготовляется на ремонтном предприятии по той же технологии, что и при производстве новых машин.

В условиях ремонтного предприятия или на ремонтном участке могут быть также выполнены катушки с гильзовой изоляцией для обмоток машин на напряжение 3 и 6 кВ. Для опрессовки и запечки гильз применяют различные ручные или пневматические прессы с водяным или электрическим подогревом, конструкция которых описана в гл. VII.

Обмотки с компаундированной изоляцией в ремонтных условиях не могут быть сделаны из-за сложности компаундных установок, которые должны быть рассчитаны на различные размеры катушек. Комплекты катушек обмотки с компаундированной изоляцией обычно заказывают на предприятиях, изготовляющих данный тип машин.

Все операции по укладке обмотки, креплению ее пазовых и лобовых частей, а также приемо-сдаточные испытания проводятся так же и в таком же объеме, как и при производстве новых машин.

§ 84. РЕМОНТ ОБМОТОК ФАЗНЫХ РОТОРОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

При перемотке фазных роторов асинхронных двигателей в большинстве случаев сохраняют старую обмоточную медь — стержни обмотки и все перемычки. Перед демонтажем независимо от наличия или отсутствия документации вычерчивают схему обмотки. На поверхности ротора маркируют пазы, в которых размещаются стержни, соединенные с началами и концами фаз и с перемычками. Для этого на торцах ротора или на его наружной поверхности наносят буквы или цифры. Каждый паз отмеча-

ют на левом и правом зубце одинаковыми знаками. Те же знаки проставляют на начерченной схеме обмотки. Разметку делают до распайки обмотки. Перед демонтажем обмотки лобовые части стержней с одной стороны ротора выпрямляют. Стержни вытаскивают из пазов с другой стороны с помощью ручной или электрической лебедки с упором в торцовую часть ротора.

Если демонтаж старой обмотки выполняют без предварительного ослабления пазовой изоляции, то стержни выходят из пазов туго. Во время вытягивания нужно быть очень осторожным, так как при чрезмерном усилии медь стержней растягивается и стержень может даже разорваться. При этом часть стержня останется в пазу ротора. Ни в коем случае нельзя вынимать стержни, выбивая их ударами с противоположного торца. Медь при этом расклепывается и стержень может наглухо застрять в пазу и повредить его стенки.

Опытные обмотчики, как только вынут стержень из паза, сразу же нумеруют его, выбивая на конце стержня номер паза, в котором находился стержень, и буквы, например В — верх или Н — низ в зависимости от положения стержня в пазу. Это существенно облегчает последующую укладку обмотки, так как размеры стержней фазных роторов разные. Случайная перестановка стержней в пазах усложнит укладку и соединение схемы обмотки.

После выемки стержни обмотки тщательно очищают от изоляции и остатков припоя и отжигают при 600—650°С. Отжиг меди необходим для устранения наклепа, образовавшегося при изгибах лобовых частей и вытягивании стержней из пазов. Отожженные стержни рихтуют деревянными молотками на стальной плите. Концы их лудят в ванне с припоем ПОС-18 и передают на изолировочный участок. Пазы ротора тщательно просматривают, удаляют остатки изоляции и подготовляют к укладке обмотки. Изолировку стержней, укладку обмотки и намотку бандажей производят так же, как и в новых машинах.

§ 85. РЕМОНТ ОБМОТОК ЯКОРЕЙ

Перед демонтажом обмотки якоря машины постоянного тока необходимо восстановить разметку якоря по старой обмотке. Обычно восстанавливают заводскую разметку — следы кернения на торцах зубцов якоря и торцах коллекторных пластин. Если этого нельзя сделать и техническая документация со схемой обмотки отсутствует, то необходимо вычертить схему. Для этого вначале определяют тип обмотки (петлевая или волновая) и шаги по пазам и по коллектору. Для стержневых обмоток такую работу сделать довольно просто, так как можно проследить положение каждой секции в пазу и последовательность соединения их выводов с коллекторными пластинами. В обмотках, секции которых состоят из нескольких витков, особенно в обмотках из круглого

провода, для того чтобы точно определить шаги обмотки, необходимо отпаять и отсоединить от коллектора несколько выводных концов секций по предполагаемому шагу по коллектору, предварительно отметив пластины, с которыми они были соединены, и с помощью контрольной лампы найти выводы одной секции. Таким образом определяют шаг по пазам и шаг по коллектору.

При распайке соединений секции с коллектором одновременно устанавливают количество элементарных проводников, из которых состоит один эффективный проводник обмотки. В обмотках из прямоугольного провода один эффективный проводник образуется одним или двумя элементарными. В обмотках из круглых проводников число элементарных проводников может быть больше (концы всех элементарных проводников впаиваются в петушки коллекторных пластин один над другим).

После того как шаги определены, приступают к разметке якоря, которая проводится так же, как и в новых машинах, в зависимости от схемы обмотки и шага обмотки по пазам. Старую обмотку якоря демонтируют лишь после разметки якоря. Во время выемки обмотки из пазов полученные данные о шаге обмотки по пазам и по коллектору, числе секций в одной катушке и числе витков в одной секции уточняют. Одновременно отмечают места присоединений и количество уравнительных соединений. Все эти данные записывают и наносят на вычерченную схему обмотки.

Обмотку якоря из круглого провода вынимают так же, как обмотки статоров машин переменного тока, т. е. вытягивают из пазов с торца якоря, предварительно обрезав лобовые части с противоположной стороны. Катушки из прямоугольной меди и стержневую обмотку вынимают из пазов поочередно. Переизолировку или изготовление новых катушек обмотки производят по такой же технологии, как и при производстве новых машин.

Подготовка якоря к укладке обмотки включает также полную ревизию коллектора. Проверяют плотность крепления пластин, при необходимости заменяют бандажи из шнура или стеклоленты на коллекторных конусах в местах выхода манжет из-под пластин. Проверяют состояние самих коллекторных манжет, очищают от остатков припоя петушки коллектора. Поверхность коллектора в зависимости от ее состояния протачивают или шлифуют; продороживают изоляцию между пластинами. Для измерения сопротивления изоляции коллектора и испытания ее электрической прочности коллектор обертывают несколькими витками неизолированной медной проволоки так, чтобы она плотно прилегала ко всем пластинам. Один вывод испытательной установки или мегаомметра для измерения сопротивления изоляции подключают к проволоке, другой — к валу якоря.

Укладку обмотки начинают с установки уравнительных соединений, изоляции обмоткодержателей и пазовой изоляции. Последовательность дальнейших работ по укладке и контролю обмотки такая же, как и при изготовлении новых машин.

§ 86. РЕМОНТ КАТУШЕК ВОЗБУЖДЕНИЯ

Частичный ремонт многовитковых катушек возбуждения из круглого или прямоугольного провода, как правило, не производят, так как любое повреждение обмотки — пробой витковой, корпусной изоляции или обрыв провода — в большинстве случаев приводит к повреждению изоляции нескольких соседних витков и обычно требует перемотки всей катушки. Использовать старый обмоточный провод для вторичной намотки катушки также в большинстве случаев не удается, так как в результате нескольких перегибов и натяжения во время намотки его изоляция теряет механическую прочность. Кроме того, витки катушек сцементированы пропиточным лаком, очистить от остатков которого весь провод катушки не удается.

Старую медь используют лишь при ремонте катушек возбуждения синхронных машин и полюсов машин постоянного тока, намотанных из неизолированной шинной меди. Для ремонта катушки снимают с полюсов, витки растягивают, очищают от старой витковой изоляции, состоящей большей частью из асбестовой бумаги, и прокладывают новую изоляцию, промазывая ее клеящим лаком. Катушки опрессовывают и устанавливают на полюсы после замены на них корпусной изоляции. Полюсы изолируют по такой же технологии, как и при производстве новых машин.

Правила и нормы контроля и испытаний капитально отремонтированных катушек возбуждения такие же, как для новых машин.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается система планово-предупредительного ремонта?

2. Какие работы выполняют во время текущих ремонтов электрических машин?

3. Какие работы выполняют во время капитального ремонта электрических машин?

4. В каких случаях производят частичный ремонт обмоток электрических машин?

5. Как определить место замыкания обмотки на корпус?

6. Как удаляют старую обмотку из круглого провода из пазов статора во время капитального ремонта?

7. Как демонтируют стержневую обмотку фазных роторов асинхронных двигателей?

8. Какие работы нужно выполнить до выемки старой обмотки из пазов якоря машины постоянного тока?

9. Какие работы следует провести с коллектором, перед тем как начать укладку новой обмотки якоря?

Заключение

Дорогие читатели!

Когда вы первый раз взяли в руки эту книгу, большинство из вас было знакомо с электрическими машинами только, как потребители: вы знали, что если подключить двигатель к сети, он начнет работать. Даже паспортная табличка машины не могла передать вам той информации, которая в ней содержится. Если же кто-либо из вас рискнул бы попытаться отремонтировать даже маленький электрический двигатель, он наверняка не смог бы разобраться в многочисленных стянутых бандажами обмоточных проводах, понять схему и припаять к нужному зажиму почему-либо отошедший выводной конец обмотки.

Изучив эту книгу и пройдя практику в мастерских училища и в цехах завода, вы раскрыли почти все «секреты» электрической машины. Сейчас, только внимательно посмотрев на разобранный даже незнакомый вам двигатель, вы можете узнать о нем многое. По ширине раскрытия пазов и конфигурации лобовых частей катушек можете сказать, какого типа и из какого провода — круглого или прямоугольного — выполнена обмотка; по числу катушечных групп обмотки — на какую частоту вращения рассчитан двигатель, а зная число катушечных групп и сосчитав число катушек в одной из них, определить число пазов статора; по конструкции изоляции — на какое — низкое или высокое — напряжение рассчитана обмотка. Вы можете даже оценить, насколько правильно и аккуратно уложена обмотка, т. е. оценить работу своего коллеги по профессии — обмотчика, изготовившего и уложившего обмотку.

Сейчас, оканчивая СПТУ, вы умеете самостоятельно изготовлять и укладывать обмотки и соединять их схемы в различных и больших и маленьких машинах. И не большая беда, что вы еще недостаточно хорошо овладели всеми тонкостями своей профессии, вы знаете основное: как должна быть выполнена работа. Опыт и совершенство придут с течением времени. Главное — знать, как нужно сделать, и хотеть сделать правильно.

Но вы сейчас знаете еще далеко не все об обмотках и электрических машинах, чтобы получить, например, пятый или шестой разряд, еще многому нужно учиться и стараться не забыть, что уже знаешь. Запомните: учиться нужно всегда. Нет такой грани, за которой можно сказать: «Я все уже знаю, мне больше учиться нечему». Что бы вы ни закончили — СПТУ, техникум или институт —

и сколько бы лет ни работали на производстве, перед вами всю жизнь будут возникать все новые и новые вопросы, новые незнакомые задачи. И тем сложнее и интереснее будут эти задачи, чем больше вы уже знаете, чем большему уже научились.

Запомните! Электрические генераторы — основа всей нашей энергетики. Электрические двигатели — основные двигатели всех механизмов в промышленности. От качества выполнения обмоток электрических машин в очень большой степени зависит надежность их работы. Выпуск электрических машин с высоким качеством обмоток, обеспечивающим их бесперебойную работу в течение всего срока эксплуатации, в основном определяется квалификацией обмотчика электрических машин и отношением его к труду.

Литература

1. Кокорев А. С. Справочник молодого обмотчика. Изд. 6-е. — М.: Высшая школа. 1985.

2. Кокорев А. С. Электрослесарь по ремонту электрических машин. Изд. 2-е. — М.: Высшая школа. 1983.

3. Захаров О. Г. Испытатель электрических машин, аппаратов и приборов. — М.: Высшая школа. 1982.

4. Антонов М. В., Герасимова Л. С. Технология производства электрических машин. — М.: Энергоиздат, 1982.